

POSEIDON WIND ENERGY

**Ministero delle Infrastrutture
e della Mobilità sostenibili**

*Domanda di Concessione Demaniale
ex art. 36 R.D. 327/1942 agg. L.25/2010*

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

**Ministero della Transizione Ecologica
Ministero della Cultura**

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

Progetto Preliminare PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE

Relazione tecnica
Valutazione dei rischi della
navigazione

LR07

F0122LR07IMPNAV00a

ORDINE DEGLI INGEGNERI
della Provincia di TARANTO
Dott. Ing. SEVERINI Luigi
N. 776

Progetto
Dott. Ing. Luigi Severini
Civ. Ing. Prov. TA n. 776
Elaborazioni
ILStudio.
Engineering & Consulting Studio

Concept & Innovations

NiceTechnology®

00	05/2022	EMESSO PER SCOPING		
REV	DATA	DESCRIZIONE		

Codice:

F	0	1	2	2	L	R	0	0	7	I	M	P	N	A	V	0	0	a
NUM.COMM.	ANNO	COD.SET	NUM.ELAB.		DESCRIZIONE ELABORATO					REV.	R.I.							

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina I di V

SOMMARIO

1.	SCOPO DEL DOCUMENTO	1
2.	DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	2
	2.1. Layout del parco eolico.....	3
3.	INTRODUZIONE.....	5
4.	MODELLO DI CALCOLO.....	6
	4.1. Drifting collision mode.....	6
	4.1.1. Calcolo della velocità di deriva	7
	4.1.2. Tempo di permanenza dell'imbarcazione, T_1	8
	4.1.3. Probabilità di rotta collidente, P_{D1}	8
	4.1.4. Probabilità di mancato intervento esterno, P_{D2}	9
	4.1.5. Probabilità di inefficace intervento dell'equipaggio, P_{D3}	9
	4.2. Powered collision mode.....	9
	4.2.1. Posizione della nave lungo la rotta, P_y	12
	4.2.2. Offset della rotta, P_{offset}	12
	4.2.3. Deviazione della rotta nominale, P_{course}	12
	4.2.4. Fattore di causalità, P_C	13
	4.2.5. Probabilità di mancato intervento del personale di bordo, $P_{react}(y)$	13
5.	ANALISI DEL TRAFFICO MARITTIMO NELL'INTORNO DEL PARCO.....	14
	5.1. Navi cargo per trasporto merci.....	16
	5.2. Navi tanker per il trasporto di combustibili in forma liquida o gassosa	18
	5.3. Navi da crociera e/o traghetti per il trasporto di persone	20
	5.4. Navi da pesca.....	22
	5.5. Riepilogo parametri rotte	22
6.	CONDIZIONI AMBIENTALI E CLIMATICHE MEDIE DEL SITO	23
	6.1. Zone di potenziale arenamento	23
	6.2. Rosa dei venti.....	24
	6.3. Correnti marine	24
7.	ANDAMENTO DEL TRAFFICO MARITTIMO - QUADRIENNIO 2017-20	28
8.	FREQUENZE DI IMPATTO	30
9.	MISURE PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO.....	33
10.	CONCLUSIONI.....	34

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina II di V

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina III di V

INDICE DELLE FIGURE

Figura 4.1 – Schema concettuale del parco eolico offshore e delle opere di connessione.	2
Figura 4.2 – Ubicazione del parco eolico e layout di impianto.....	3
Figura 4.1 – Catena degli eventi nell’impatto per deriva.	6
Figura 4.2 - Rappresentazione concettuale dell’angolo di copertura.	8
Figura 4.3 – Catena degli eventi nell’impatto per errore nella rotta.	10
Figura 4.4 – Powered collision mode, ampiezza della regione critica di impatto.	13
Figura 5.1 – Istantanea del traffico marittimo nel mare della Sardegna nord-orientale.	14
Figura 5.2 - Elaborazione della densità di traffico per alcuni tipi di imbarcazione.	15
Figura 5.3 – Elaborazione delle rotte di imbarcazioni CARGO.	16
Figura 5.4 – Variazione delle rotte esistenti per navi CARGO.	17
Figura 5.5 – Elaborazione delle rotte di imbarcazioni TANKER.	18
Figura 5.6 – Variazione delle rotte esistenti per navi TANKER.	19
Figura 5.7 – Elaborazione delle rotte di imbarcazioni PASSENGER.	20
Figura 5.8 – Variazione delle rotte esistenti per navi PASSENGER.	21
Figura 6.1 – Mappa batimetrica della zona indagata.	23
Figura 6.2 – Rosa dei venti per la località di progetto.	24
Figura 6.3 – Mappa delle correnti marine per i mesi di gennaio, febbraio, marzo e aprile.	25
Figura 6.4 – Mappa delle correnti marine per i mesi di maggio, giugno, luglio e agosto.....	26
Figura 6.5 – Mappa delle correnti marine per i mesi di settembre, ottobre, novembre e dicembre.	27
Figura 7.1 – Andamento del traffico marittimo nel quadriennio 2017-2020.....	29
Figura 8.1 – Frequenze di impatto tra le imbarcazioni ed il parco eolico.	31

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina IV di V

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4.1 – Modello di impatto per errore nella rotta (powered collision mode).....	11
Tabella 5.1 – Statistiche delle rotte di navi CARGO.	16
Tabella 5.2 – Statistiche delle rotte di navi TANKER.	18
Tabella 5.3 – Statistiche delle rotte di navi PASSENGER.....	20
Tabella 5.4 – Riepilogo dei parametri delle rotte esaminate.	22
Tabella 7.1 – Traffico marittimo per il quadriennio 2017-2020.	28
Tabella 8.1 – Frequenze di impatto tra le imbarcazioni ed il parco eolico.	30
Tabella 8.2 – Criterio generale di accettabilità del rischio di impatto navale.	31
Tabella 9.1 – Misure possibili per la mitigazione del rischio impatto.	33

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina V di V

INDICE DELLE VOCI

AIS	Automatic Identification System
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
DHI	Dansk Hydraulisk Institute
EMODnet	European Marine Observation and Data network
ENEL	Ente Nazionale per l'Energia Elettrica
FOS	Floating Offshore Substation
GL	Germanischer Lloyd
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
RTN	Rete Trasmissione Nazionale
TJB	Transition Joint Bay
VTM	Vessel Traffic Management
WTG	Wind Turbine Generator

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 1 di 36

1. SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del presente documento è la valutazione dei rischi legati alle attività di navigazione nell'area di mare interessata dal progetto per la realizzazione del parco eolico offshore floating proposto dalla società Poseidon Wind Energy S.r.l. costituito da 72 aerogeneratori e 2 sottostazioni galleggianti. Il progetto, collocato nel Mar Tirreno a nord-est della Sardegna, permetterà la produzione di energia da fonte eolica rinnovabile per una capacità elettrica nominale installata di 1008 MW.

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 2 di 36

2. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

Il parco eolico offshore di cui si propone la realizzazione sarà ubicato nella porzione nord-occidentale del Mar Tirreno, ad una distanza dalle coste sarde di oltre 40 km. Il parco eolico, composto da 72 aerogeneratori galleggianti, garantisce una potenza totale di esercizio pari a 1008 MW.

Nella sua interezza, l'impianto si compone di una parte a mare (offshore) e di una parte a terra (onshore), interessando i seguenti ambiti territoriali.

- Piattaforma Continentale Italiana, per l'installazione delle torri eoliche, dei cavi marini in alta tensione e del primo tratto dell'elettrodotto marino verso terra.
- Mare territoriale, per il passaggio dell'elettrodotto marino sino alla terraferma.
- Parte del territorio regionale laziale lungo il tracciato dell'elettrodotto terrestre dal punto di approdo a terra sino al punto di connessione con la RTN (Rete di Trasmissione Nazionale).

L'architettura elettrica del parco, riportata qualitativamente in Figura 2.1, comprende:

- 72 aerogeneratori galleggianti di potenza nominale pari a 14 MW, supportati da innovative strutture galleggianti ancorate al fondale previo utilizzo di apposite linee di ormeggio;
- una rete di cavi marini in corrente alternata (CA) e in alta tensione (AT) a 66 kV per l'interconnessione delle turbine (in inglese, inter-array net);
- due sottostazioni elettriche galleggianti FOS (Floating Offshore Substation) con funzione primaria di elevazione della tensione e di conversione CA/CC, supportate da strutture galleggianti ancorate al fondale previo utilizzo di apposite linee di ormeggio;
- due elettrodotti marini di esportazione OfEC (Offshore Export Cable) in CC e AT a ± 320 kV;
- due punti di giunzione TJB (Transition Joint Bay) per la transizione tra l'elettrodotto marino e terrestre;
- due elettrodotti terrestri interrati OnEC (Onshore Export Cable) in CC e AT a ± 320 kV;
- una sottostazione elettrica di conversione CC/CA, misure e consegna per l'immissione dell'energia prodotta nella rete ad una tensione di 380 kV.

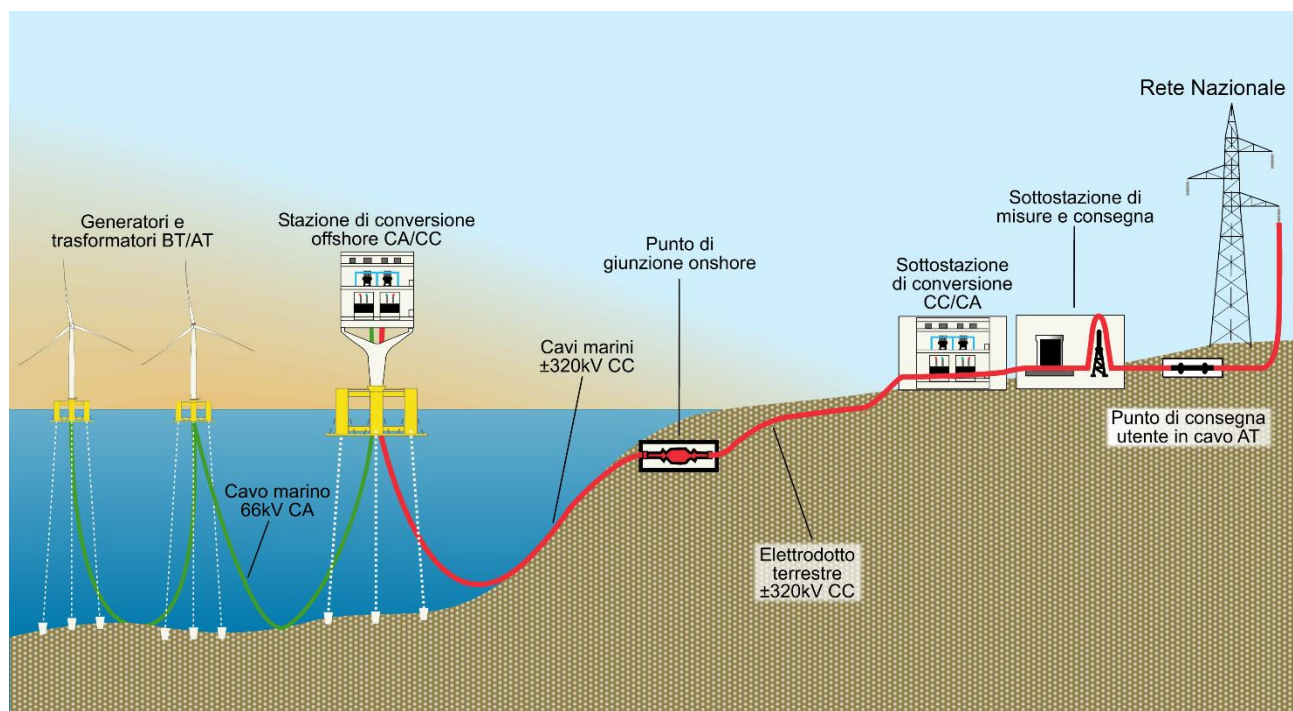


Figura 2.1 – Schema concettuale del parco eolico offshore e delle opere di connessione.

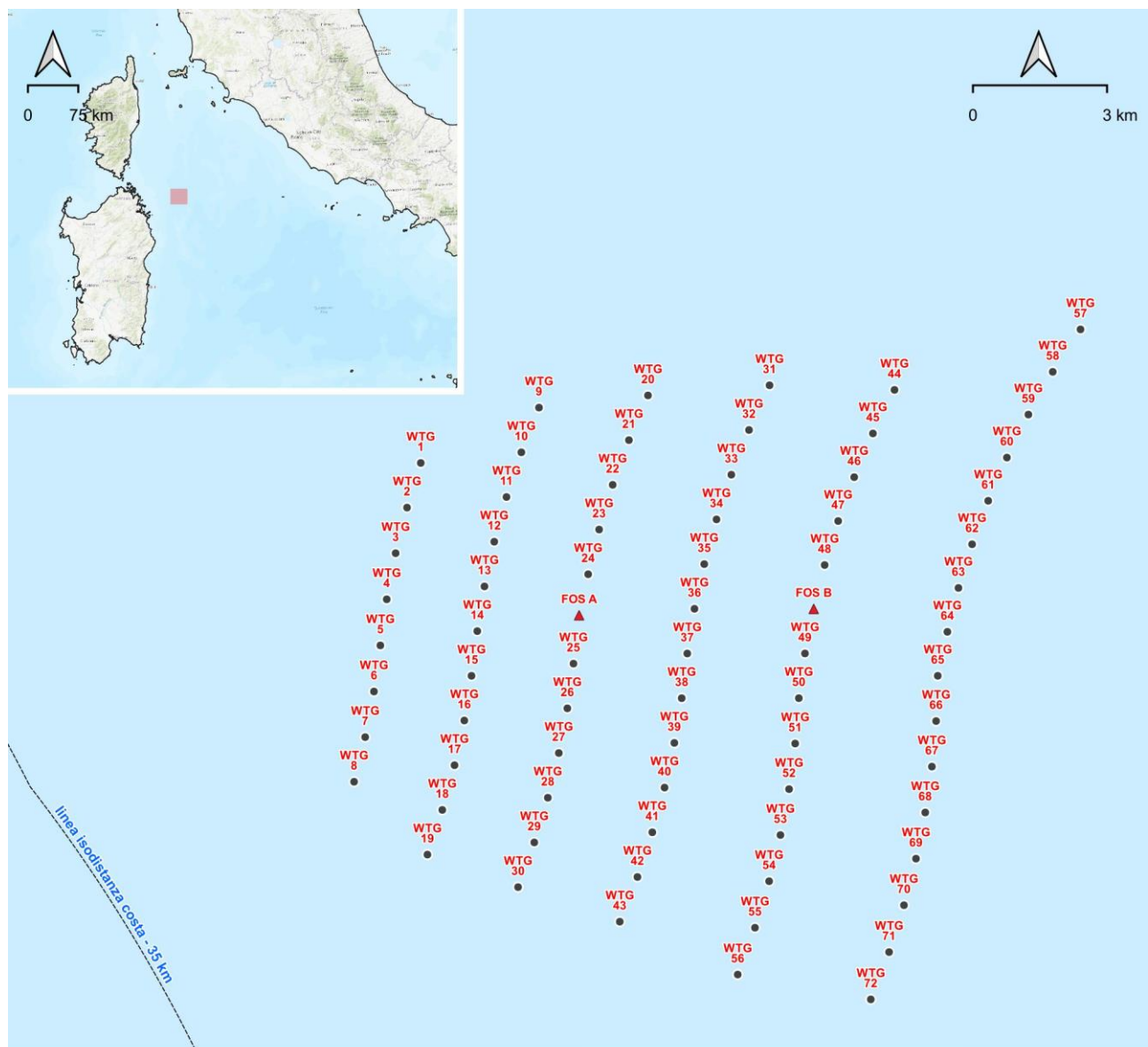
Elaborazione iLStudio.

PROGETTO PRELIMINARE		PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione			
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 3 di 36	

2.1. Layout del parco eolico

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, il livello batimetrico dei fondali, i campi verticali e orizzontali delle correnti marine, il regime ondometrico, le caratteristiche geofisiche e geotecniche dei fondali, i vincoli ambientali (antropogenici e naturali) e amministrativi, l'eventuale presenza di relitti, ordigni inesplosi e/o infrastrutture sottomarine esistenti (elettrodotti, cavi telecomunicazione, gasdotti, etc.) 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 (Operation and Maintenance).



PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE

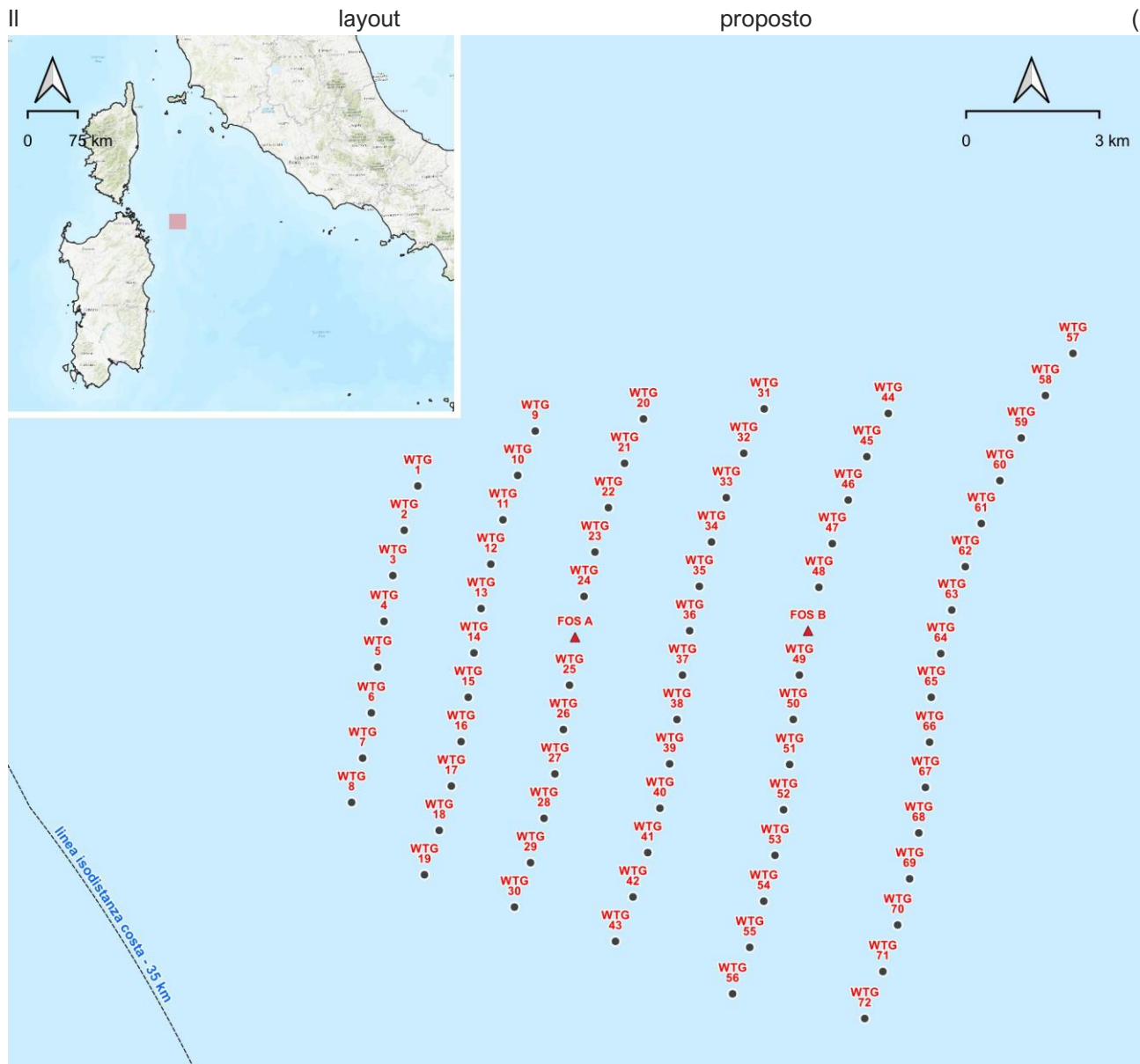
Sezione offshore - layout di impianto.

Elaborazione iLStudio

Figura 2.2 – Ubicazione del parco eolico e layout di impianto.

Elaborazione iLStudio.

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 4 di 36



PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE

Sezione offshore - layout di impianto.

Elaborazione iLStudio

Figura 2.2) prevede la disposizione delle turbine e della sottostazione FOS secondo filari curvi e paralleli che si estendono da ovest ad est in configurazione favorevole ad ottimizzare la producibilità energetica dell'impianto secondo le direzioni di vento caratteristiche della località. Le strutture offshore sono disposte secondo due campi, uno ad est costituito da 36 aerogeneratori, l'altro ad ovest comprendente i restanti 36. Le FOS risultano collocate nella parte interna del parco eolico, per facilitarne la connessione con gli aerogeneratori più distanti. La disposizione garantisce una inter-distanza minima tra gli aerogeneratori non inferiore a 4500 m e 2500 m rispettivamente lungo le direzioni di vento prevalenti (270°N e 300°N), minimizzando le perdite di scia a garanzia di una migliore efficienza di estrazione dell'energia dal vento.

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 5 di 36

3. INTRODUZIONE

La valutazione del rischio di impatto navale contro il parco eolico proposto è stata effettuata in riferimento al modello di calcolo proposto da SSPA Sweden AB (SSPA Sweden AB, 2008) società di consulenza internazionale, che opera in tutto il mondo nei principali settori dell'ingegneria marittima e delle scienze correlate. Per la stima delle frequenze di impatto il modello considera due modi di collisione distinti ovvero il drifting collision mode (modo di collisione per deriva) e il powered collision mode (modo di collisione per perdita della rotta).

Nel primo caso la causa prima dell'evento incidentale è l'avaria dei sistemi di propulsione con conseguente deriva della nave nella direzione di massima spinta sotto le azioni tidali e del vento. Nel secondo caso l'incidente può invece manifestarsi in conseguenza di una deviazione dell'imbarcazione dalla rotta nominale che, se collidente con l'ostacolo, determina l'impatto della nave sotto la spinta dei sistemi di propulsione.

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 6 di 36

4. MODELLO DI CALCOLO

4.1. Drifting collision mode

Nel modello di collisione per deriva l'evento incidentale si verifica per il simultaneo realizzarsi di una avaria sul sistema di propulsione della nave e del mancato o inefficace intervento correttivo sia esso la riparazione del guasto, l'ancoraggio della nave o l'intervento di rimorchiatori di emergenza.

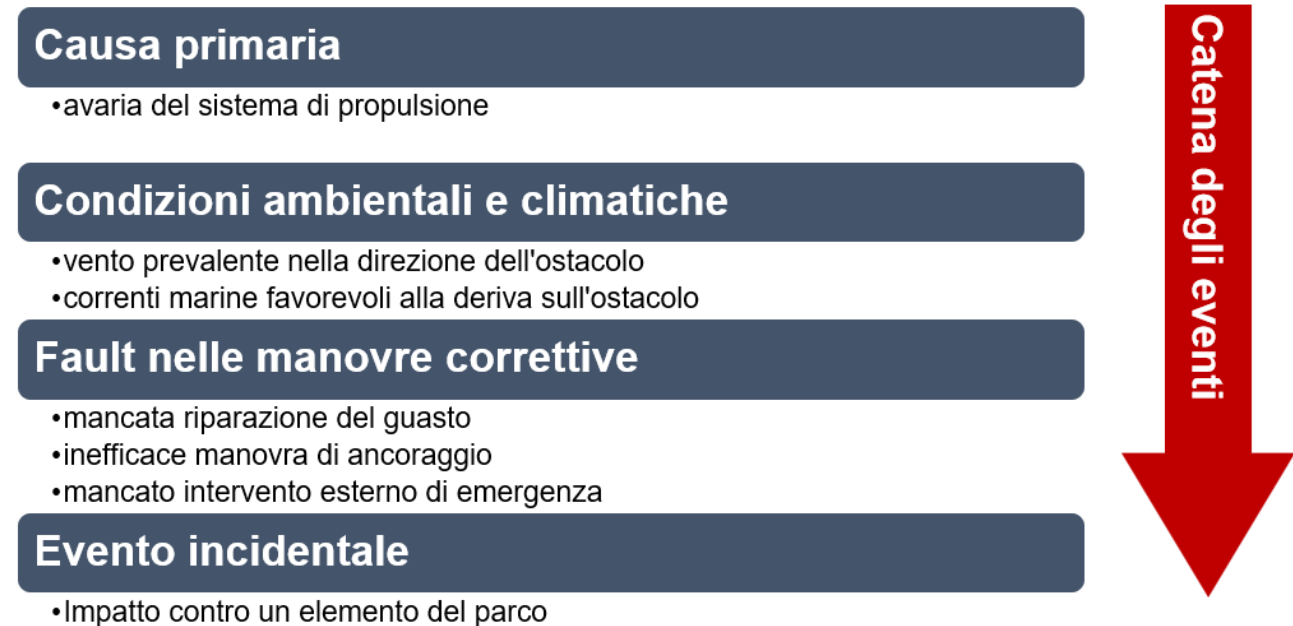


Figura 4.1 – Catena degli eventi nell'impatto per deriva.

Elaborazione iLStudio.

La frequenza di collisione per deriva lungo una certa rotta e per un certo tipo di imbarcazione può scriversi come:

$$F_{CD,R,i} = N_{i,R} \times F_{drift} \times T_{i,R} \times P_{D1} \times P_{D2} \times P_{D3} \quad eq. (1)$$

in cui:

- $F_{CD,R,i}$ è la frequenza di collisione lungo la rotta R per imbarcazioni del tipo i , espressa in [impatti/anno],
- $N_{i,R}$ è il traffico annuo di imbarcazioni del tipo i sulla rotta R espresso in [navi / anno],
- F_{drift} è il numero di avarie motore all'anno,
- $T_{i,R}$ è il tempo di permanenza dell'imbarcazione della zona di influenza del parco espressa in [ore],
- P_{D1} è la probabilità che, in relazione alle azioni del mare e del vento, la nave derivi nella direzione del parco,
- P_{D2} è la probabilità di mancata assistenza esterna,
- P_{D3} è la probabilità di inefficace intervento dell'equipaggio.

Considerando diverse rotte e diverse tipologie di imbarcazioni, la frequenza complessiva si ottiene per semplice somma:

$$F_{CD} = \sum_i \sum_R F_{CD,R,i} \quad eq. (2)$$

Per il calcolo dei termini nell'eq. (1) è necessario stimare la velocità di deriva dell'imbarcazione. L'importanza

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 7 di 36

del parametro è intuibile se si considera che, in ragione della distanza mutua nave – parco, al variare della velocità di deriva cambia il tempo a disposizione per l'applicazione delle dovute manovre correttive e dunque una variazione della frequenza di impatto.

4.1.1. Calcolo della velocità di deriva

La stima della velocità di deriva dell'imbarcazione è effettuata considerando il bilancio delle azioni dinamiche nella direzione della congiungente nave – parco. Tali azioni sono classificabili in forze di spinta e forze di resistenza, le prime favorevoli al moto di deriva. Considerando come forze attive la forza del vento e le azioni tidali associate alle correnti marine e alle onde, si può scrivere:

$$-|F_{resistance}| + |F_{wind}| + |F_{wave}| + |F_{current}| = 0 \quad eq. (3)$$

La forza di resistenza è imputabile all'acqua per la parte sommersa della nave e all'aria per la sua parte emersa. Il primo contributo è generalmente preponderante per cui si può scrivere:

$$|F_{resistance}| = \frac{1}{2} A_{sub} \rho_{H_2O} C_{d,sub} v_{drift}^2 = \frac{1}{2} (L_i H_d) \rho_{H_2O} C_{d,sub} v_{drift}^2 \quad eq. (4)$$

ove A_{sub} è l'area laterale sommersa della nave pari al prodotto della sua lunghezza L_i per il pescaggio H_d , ρ_{H_2O} è la densità media dell'acqua, $C_{d,sub}$ è il coefficiente di resistenza idrodinamica della parte sommersa della nave (generalmente pari a 0.9) e v_{drift} è la velocità di deriva della nave (incognita).

La forza esercitata dal vento può invece scriversi nella forma:

$$|F_{wind}| = \frac{1}{2} A_{em} \rho_{air} C_{d,em} v_{wind}^2 = \frac{1}{2} [L_i (H - H_d)] \rho_{air} C_{d,em} v_{wind}^2 \quad eq. (5)$$

in cui A_{em} e $C_{d,em}$ sono rispettivamente l'area laterale e il coefficiente di resistenza aerodinamica della parte emersa dell'imbarcazione (quest'ultimo generalmente pari a 0.9), ρ_{air} è la densità media dell'aria, v_{wind} è la velocità del vento. La scelta di assimilare la velocità relativa vento – nave alla sola velocità del vento è puramente cautelativa.

La forza esercitata dalle onde F_{wave} si assume generalmente pari alla metà della forza del vento e dunque:

$$|F_{wave}| = \frac{1}{2} |F_{wind}| \quad eq. (6)$$

Infine, la forza generata dalle correnti può scriversi nella forma:

$$|F_{current}| = \frac{1}{2} A_{sub} \rho_{H_2O} C_{d,sub} v_{current}^2 = \frac{1}{2} (L_i H_d) \rho_{H_2O} C_{d,sub} v_{current}^2 \quad eq. (7)$$

in cui $v_{current}$ è la velocità media stimata della corrente marina tra il pelo libero dell'acqua e la parte inferiore della chiglia.

Sostituendo le eq. (4), eq. (5), eq. (6) ed eq. (7) nella eq. (3) e risolvendo nell'incognita v_{drift} si ottiene:

$$v_{drift}^2 = \frac{\frac{3}{2} A_{em} \rho_{air} C_{d,em} v_{wind}^2 + A_{sub} \rho_{H_2O} C_{d,sub} v_{current}^2}{A_{sub} \rho_{H_2O} C_{d,sub}} \quad eq. (8)$$

ovvero, considerando i valori tipici dei parametri:

$$v_{drift} = \sqrt{0.0018 \frac{H_{em}}{H_{sub}} v_{wind}^2 + v_{current}^2} \quad eq. (9)$$

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 8 di 36

4.1.2. Tempo di permanenza dell'imbarcazione, T_i

Il calcolo del tempo di permanenza dell'imbarcazione nella zona di rischio impatto dipende dalla velocità di crociera della nave e dalla lunghezza della rotta considerata. Generalmente si considera una zona di rischio circolare centrata sull'ostacolo (il parco) avente raggio R_{area} corrisponda ad un tempo di deriva non superiore a 24 ore. Nota dunque la velocità di deriva della nave si può scrivere:

$$R_{area} \leq 3600 \times 24 \times v_{drift} \quad eq. (10)$$

La lunghezza L_R di interesse per la generica rotta R in base a cui calcolare il tempo di permanenza T_i è dunque quella corrispondente al tratto di rotta contenuto nel cerchio di influenza di raggio R_{area} . Nota quindi la velocità di crociera v_{cruise} dell'imbarcazione si può finalmente scrivere:

$$T_i = L_R \times v_{cruise} \quad eq. (11)$$

4.1.3. Probabilità di rotta collidente, P_{D1}

La probabilità che la nave in deriva impatti contro il parco dipende dalla sua posizione rispetto al parco e dalla direzione locale dei venti. Si può affermare che la probabilità di impatto cresca con l'angolo di copertura del parco nella generica direzione d del vento. Tale angolo, solitamente indicato con α , è sotteso dalle due semirette convergenti nel punto medio longitudinale dell'imbarcazione e tangenti la circonferenza che inscrive il parco. Poiché la direzione di deriva dipende strettamente dalla direzione locale del vento, l'angolo di copertura α viene generalmente ripartito su un numero finito di direzioni di ventosità prevalente, così da potervi sovrapporre le informazioni statistiche di una rosa dei venti (Figura 4.2). La probabilità di rotta in deriva collidente P_{D1} può quindi scriversi come:

$$P_{D1} = \frac{N_w}{360} \sum_d f_{w,d} \alpha_d \quad eq. (12)$$

ove si è indicato con N_w il numero delle direzioni del vento considerate nella rosa dei venti locale, con $f_{w,d}$ la frequenza di vento nella direzione d , mentre α_d è la quota parte di α compresa nel settore di vento con direzione d .

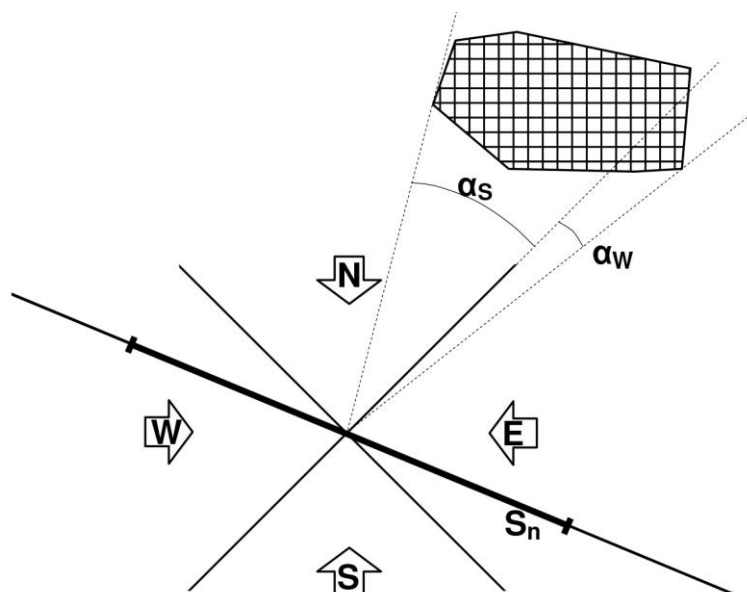


Figura 4.2 - Rappresentazione concettuale dell'angolo di copertura.
Immagine da (SSPA Sweden AB, 2008).

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 9 di 36

4.1.4. Probabilità di mancato intervento esterno, P_{D2}

La collisione tra un'imbarcazione in deriva e il parco può essere evitata se si attivano efficacemente i sistemi di assistenza in mare attraverso l'utilizzo di rimorchiatori di emergenza. L'efficacia dell'intervento di salvataggio dipende da numerosi fattori tra cui, ad esempio:

- la distanza tra la nave e il parco che, in relazione alla velocità di deriva, determina il tempo massimo disponibile per l'intervento,
- la distanza e la velocità di attivazione e spostamento del rimorchiatore dal porto più vicino,
- le prestazioni di tiro del rimorchiatore,
- l'esperienza del personale di bordo nel favorire l'intervento del servizio di assistenza.

In mancanza di informazioni precise, in via cautelativa, si possono trascurare gli effetti degli interventi di assistenza assumendo P_{D2} unitario, così da simulare la condizione critica di mancato intervento dell'assistenza esterna.

4.1.5. Probabilità di inefficace intervento dell'equipaggio, P_{D3}

Successivamente alla manifestazione di un'avaria il personale di bordo, se opportunamente addestrato, può tentare un intervento di riparazione e/o attivare una manovra di ancoraggio.

La probabilità di inefficace intervento P_{D3} dipende allora dalle probabilità di mancata riparazione del guasto $P_{D3, selfrepair}$ e dalla probabilità di mancato ancoraggio $P_{D3, anchoring}$. Poiché i due eventi sono tra loro indipendenti e la probabilità P_{D3} coincide con la probabilità che nessuno degli interventi effettuati si concluda con successo, si può scrivere:

$$P_{D3} = P_{D3, selfrepair} \times P_{D3, anchoring} \quad \text{eq. (13)}$$

L'efficacia dell'intervento manutentivo dipende, oltreché dall'esperienza dell'equipaggio, dal tempo a disposizione per la riparazione. La probabilità di mancata riparazione del guasto è generalmente espressa mediante la seguente funzione del tempo t a disposizione per la riparazione:

$$p_{D3, selfrepair}(t > T_{drift}) = \begin{cases} 1 & \text{per } t \leq 0,25 \\ [1,5(t - 0,25) + 1]^{-1} & \text{per } t > 0,25 \end{cases} \quad \text{eq. (14)}$$

ove T_{drift} il tempo richiesto per l'impatto in condizioni di deriva. L'efficacia dell'operazione di ancoraggio dipende dalle condizioni del mare e dalle caratteristiche del vento locali, ovvero, dalla velocità di deriva dell'imbarcazione. La probabilità di insuccesso dell'ancoraggio è modellata con una funzione di probabilità del tipo:

$$P_{D3, anchoring} = a_1 \exp \left[- \left(\frac{B - b_1}{c_1} \right)^2 \right] \quad \text{eq. (15)}$$

in cui B è la classe di vento espressa secondo la scala Beaufort, a_1 , b_1 e c_1 sono costanti di interpolazione gaussiana, ottenuta a partire da informazioni statistiche della guardia costiera olandese (MARIN, s.d.).

4.2. Powered collision mode

La stima della probabilità di collisione per errore nella rotta (in inglese, *powered collision mode*), secondo il modello SSPA, considera i seguenti come eventi critici:

- errore umano,
- guasto tecnico nel sistema di rilevazione dell'ostacolo,
- guasto tecnico nel sistema di rilevazione della rotta.

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 10 di 36

Causa primaria

- errore umano in fase di impostazione della rotta
- avaria nei sistemi di geolocalizzazione della nave

Fault nelle manovre correttive

- mancata correzione della rotta
- mancata segnalazione da parte delle autorità di controllo del traffico navale
- mancato funzionamento dei dispositivi di segnalazione visiva dell'ostacolo

Evento incidentale

- Impatto contro un elemento del parco

Catena degli eventi



Figura 4.3 – Catena degli eventi nell’impatto per errore nella rotta.

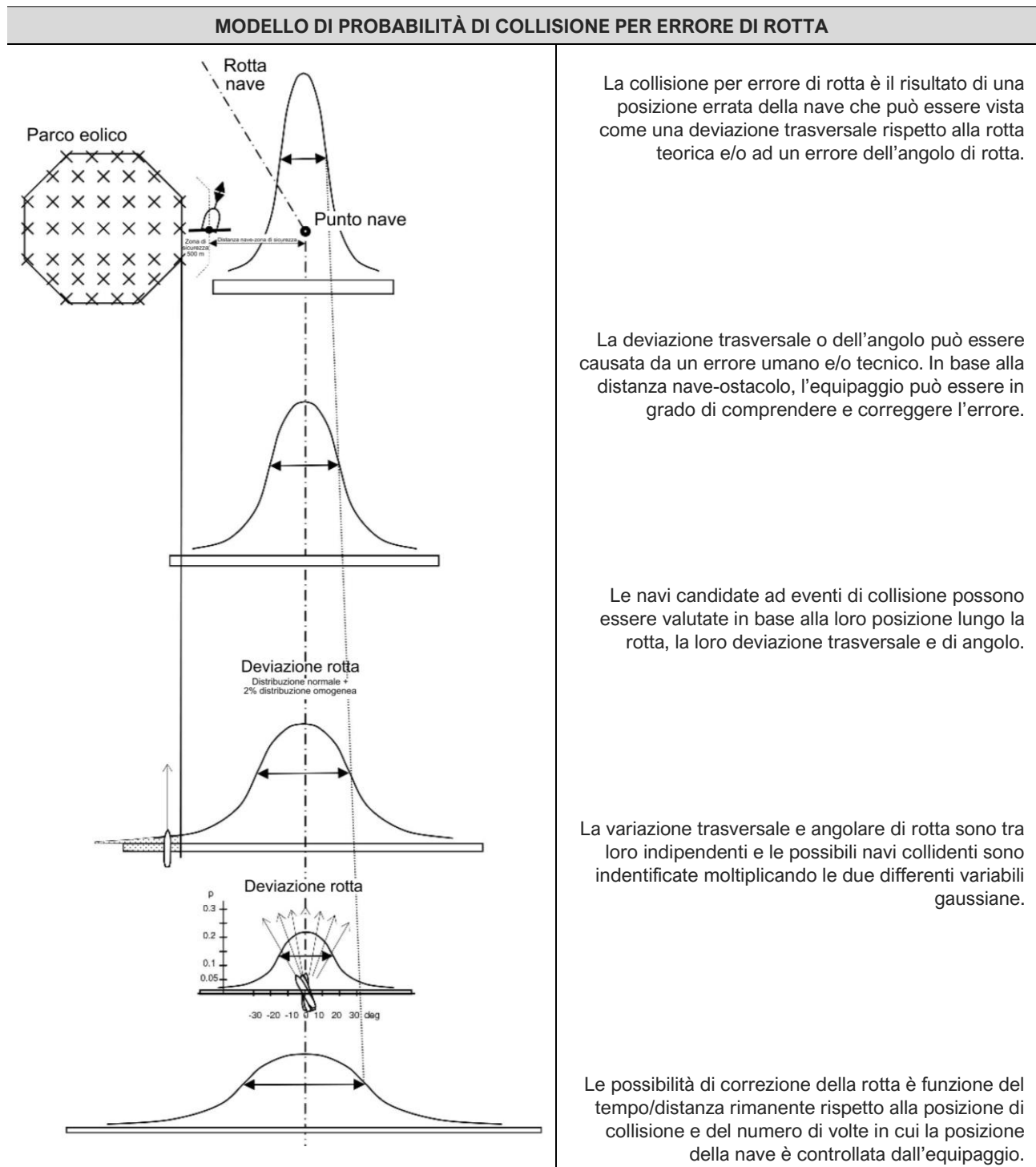
Elaborazione iLStudio.

Le conseguenze di tali eventi sono riassumibili in uno spostamento laterale dell’imbarcazione rispetto alla rotta nominale (in inglese, *position offset*) e/o uno scostamento angolare rispetto alla direzione di rotta nominale (in inglese, *course deviation*).

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 11 di 36

Tabella 4.1 – Modello di impatto per errore nella rotta (powered collision mode).

Immagine da (SSPA Sweden AB, 2008).



Per una certa rotta R , percorsa da una nave di tipo i , assumendo che l'offset della nave e la sua deviazione siano variabili aleatorie indipendenti, la frequenza di impatto può scriversi nella forma:

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 12 di 36

$$F_{PC,R,i} = N_{i,R} \times \sum_x P_C \times P_y \times \sum_{offset} \sum_{course} (P_{offset} \times P_{course} \times P_{react}) \quad eq. (16)$$

i cui termini corrispondono a:

- $F_{PC,R,i}$ è la frequenza di collisione lungo la rotta R per imbarcazioni del tipo i , espressa in [impatti / anno],
- $N_{i,R}$ è il traffico annuo di imbarcazioni del tipo i sulla rotta R espresso in [navi / anno],
- P_y è la probabilità che la nave si trovi nella posizione y lungo la rotta R ,
- P_{offset} è la probabilità che la nave abbia un offset y rispetto alla rotta nominale tale da impattare contro il parco,
- P_{course} è la probabilità che la nave abbia una deviazione angolare θ rispetto alla rotta nominale tale da impattare contro il parco,
- P_C è un fattore di causalità ovvero la probabilità che si manifesti un errore di rotta dovuto a errata pianificazione della rotta o a errata manovra del personale di bordo,
- $P_{react,y}$ è la probabilità di mancato intervento del personale di bordo in caso di imbarcazione in rotta di collisione.

4.2.1. Posizione della nave lungo la rotta, P_y

La probabilità che la nave si trovi in posizione y lungo la rotta (ove y è l'ascissa curvilinea presa lungo la linea nominale di rotta), nell'ipotesi di suddividere la rotta in N_R intervalli di pari lunghezza con la nave supposta in moto uniforme, si semplifica nella forma:

$$P_y = \frac{t_y}{T_R} = \frac{1}{N_R} \quad eq. (17)$$

in cui t_y è il tempo per raggiungere la posizione y , T_R è il tempo totale di percorrenza sulla rotta R .

4.2.2. Offset della rotta, P_{offset}

Una volta individuata la linea media della rotta a partire dai dati AIS, la posizione laterale dell'imbarcazione rispetto alla linea nominale di rotta può essere statisticamente modellata come sovrapposizione di una distribuzione Gaussiana con media μ_x nulla e deviazione standard σ_x e di una distribuzione uniforme su un intervallo di ampiezza pari a $6\sigma_x$.

La probabilità che l'imbarcazione abbia un offset x compreso tra i limiti x_1 e x_2 può quindi scriversi come:

$$P_{offset} = \int_{x_1}^{x_2} p_{offset} dx = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right) dx + \frac{0,02|x_2 - x_1|}{6\sigma_x} \quad eq. (18)$$

4.2.3. Deviazione della rotta nominale, P_{course}

La deviazione angolare dell'imbarcazione rispetto alla rotta nominale è anch'essa una variabile aleatoria modellabile secondo una distribuzione gaussiana di media μ_θ nulla e deviazione standard σ_θ (in accordo con il modello SSPA, si considera una deviazione standard pari a 15 deg). Si può quindi scrivere:

$$P_{course} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} p_{course} d\theta = \frac{1}{\sigma_\theta \sqrt{2\pi}} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \exp\left(-\frac{\theta^2}{2\sigma_\theta^2}\right) d\theta \quad eq. (19)$$

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 13 di 36

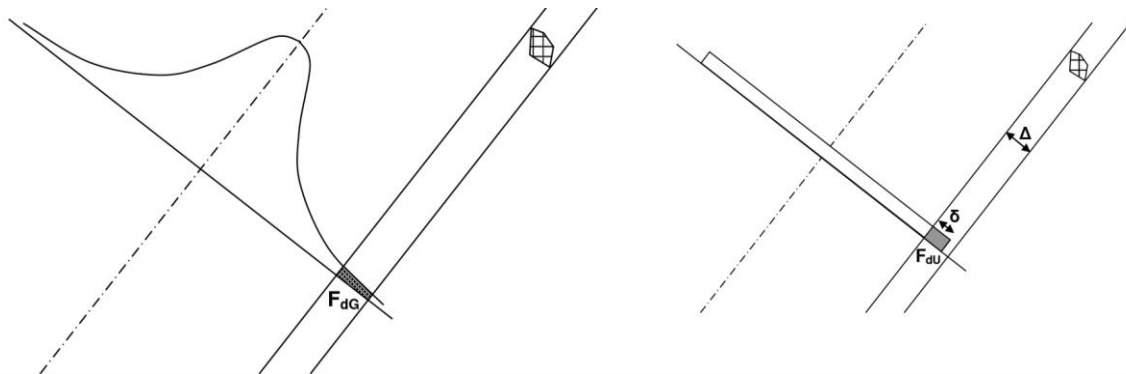


Figura 4.4 – Powered collision mode, ampiezza della regione critica di impatto.

Immagine da (SSPA Sweden AB, 2008).

4.2.4. Fattore di causalità, P_C

Il fattore di causalità sintetizza la probabilità di accadimento di eventi la cui conseguenza è la variazione della rotta rispetto a quella nominale. A titolo d'esempio, afferiscono al fattore di causalità gli errori nella pianificazione della rotta, gli errori in fase di manovra da parte del personale di bordo, il mancato o errato funzionamento dei dispositivi di rilevazione ostacoli e/o mantenimento della rotta, il mancato funzionamento dei dispositivi di segnalazione visiva del parco etc. Il modello SSPA considera convenzionalmente un valore di P_C pari a 3×10^{-4} . Tale è stato adottato anche in questa analisi.

4.2.5. Probabilità di mancato intervento del personale di bordo, $P_{react}(y)$

Qualora l'imbarcazione percorresse una rotta collidente con il parco, l'eventualità di un impatto diventerebbe concreta a patto che il personale di bordo non sia in grado di attuare in tempo una correzione della rotta. Ovviamente la probabilità di mancato intervento del personale è inversamente proporzionale alla distanza della nave dal parco, infatti maggiore è il tempo a disposizione per attuare la manovra correttiva tanto più alta è la possibilità che questa sia efficace. Indicando con D la distanza tra la nave e il parco, in maniera cautelativa, la probabilità $P_{react}(y)$ può scriversi come:

$$P_{react}(y) = \exp(-0.2D^{1.5}) \quad \text{eq. (20)}$$

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 14 di 36

5. ANALISI DEL TRAFFICO MARITTIMO NELL'INTORNO DEL PARCO

La definizione delle rotte esistenti nell'area in esame è stata effettuata analizzando le mappe di densità elaborate a partire dalle statistiche della rete AIS (Automatic Identification System) da EMODnet.

L'elaborazione grafica delle mappe ha consentito, per ciascuna tipologia di imbarcazione, sia l'identificazione delle rotte a maggior densità di traffico, sia l'entità stessa del traffico.

L'indagine è stata effettuata, cautelativamente, considerando un dominio quadrato centrato sul parco e di lato pari a 80 km (circa 43 NM).

Le caratteristiche dimensionali, la stazza e la velocità media di crociera sono state estrapolate, per ciascuna categoria, campionando i dati di traffico marittimo istantaneo forniti da servizi di online vessel tracking.

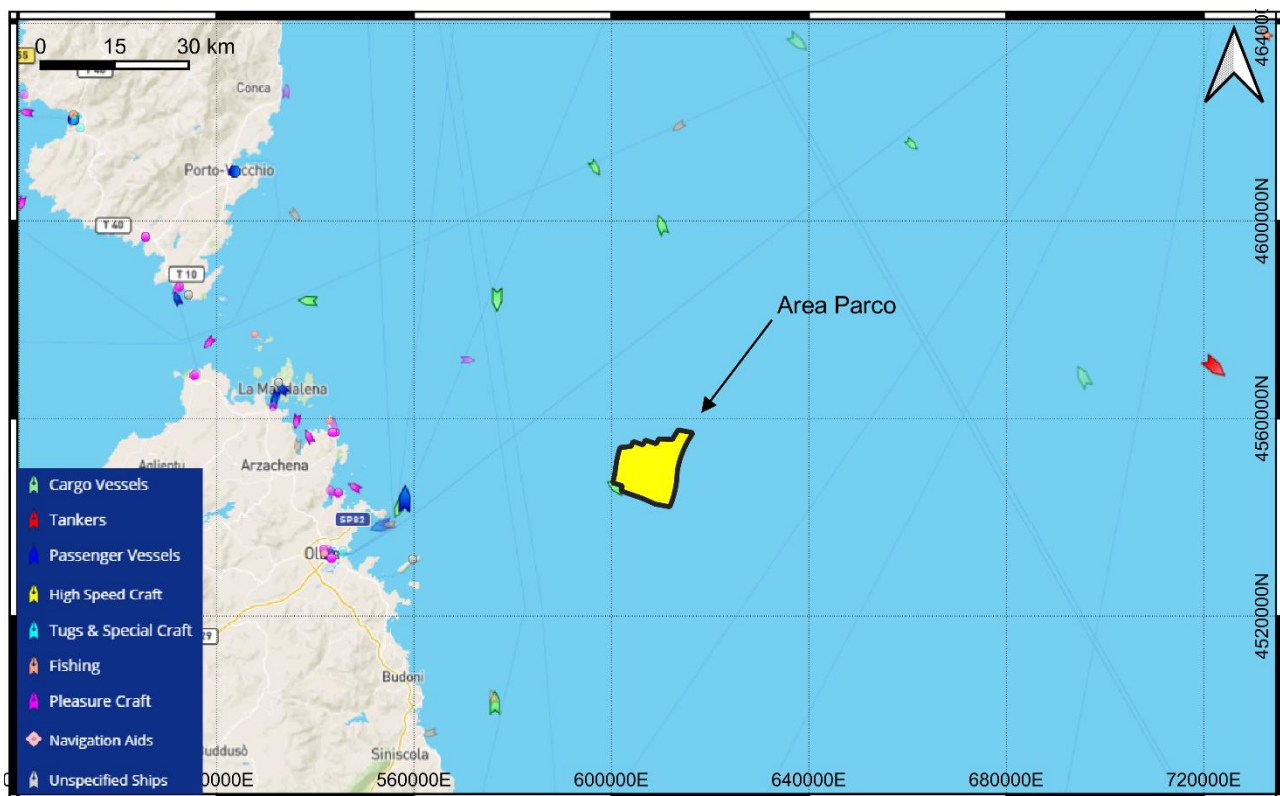


Figura 5.1 – Istantanea del traffico marittimo nel mare della Sardegna nord-orientale.

(MarineTraffic, 2021).

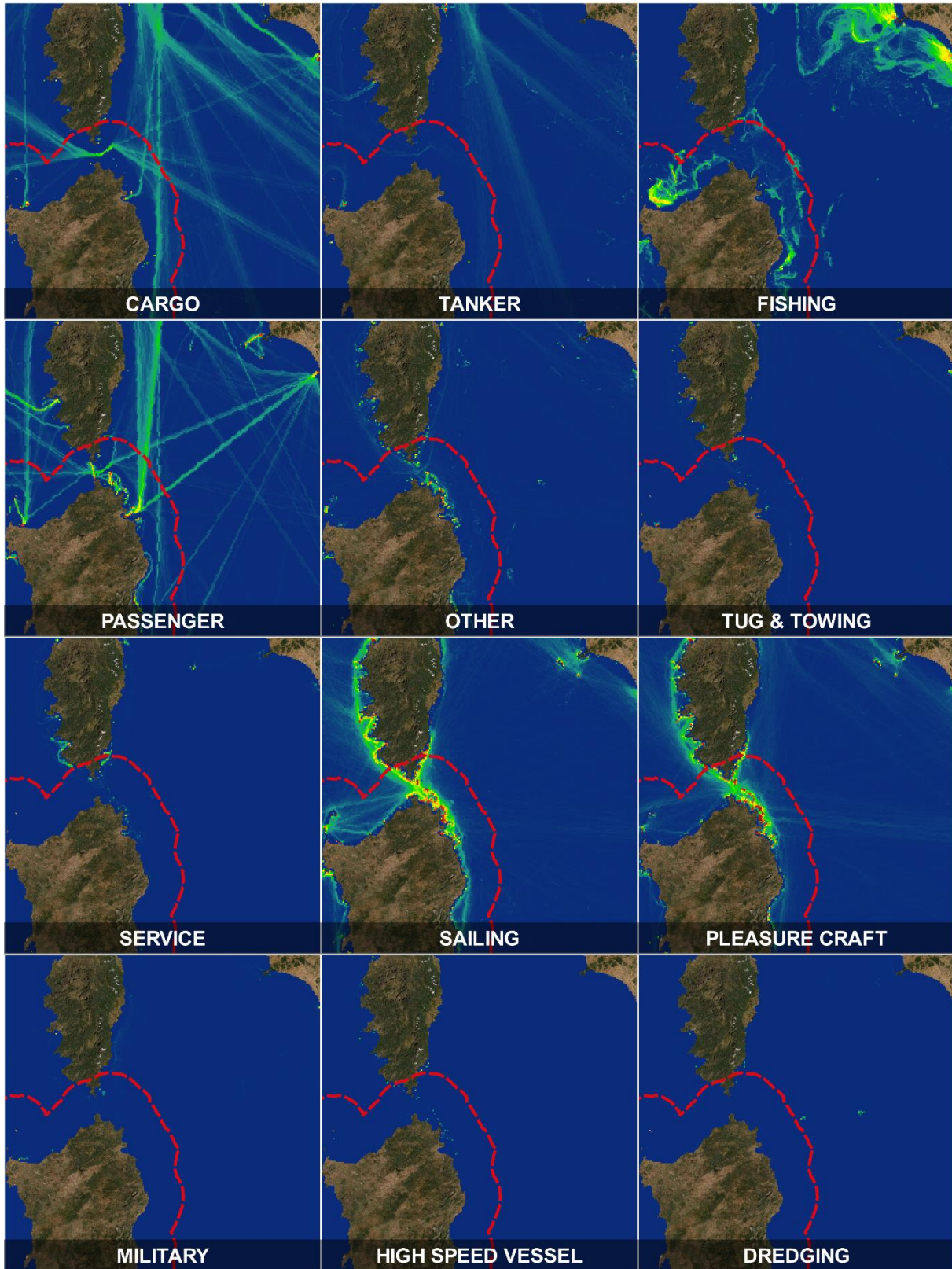
Le mappe della densità di traffico per diverse tipologie di imbarcazioni sono mostrate in Figura 5.2 (EMODnet, 2021).

L'analisi delle mappe di densità evidenzia che le imbarcazioni coinvolte sulle rotte di potenziale criticità sono riconducibili alle seguenti categorie:

- navi cargo per il trasporto merci,
- navi tanker per il trasporto di combustibili in forma liquida o gassosa,
- navi da crociera e/o traghetti per il trasporto persone,
- navi da pesca.

La densità di traffico è espressa in ore di navigazione mensili per km² (Falco, et al., 2019).

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 15 di 36



Mappe di densità del traffico navale - Mare della Sardegna nord - orientale

Fonte: EMODnet (2021)



Figura 5.2 - Elaborazione della densità di traffico per alcuni tipi di imbarcazione.

Elaborazione iLStudio su dati (EMODnet, 2021).

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 16 di 36

5.1. Navi cargo per trasporto merci

A questa categoria appartengono tutte le navi da trasporto merci con indice di stazza lorda GT (gross tonnage) compreso tra 1000 e 100000. La velocità media di crociera può assumersi variabile tra 4.6 e 10.3 m/s (corrispondenti a 9 e 20 nodi). Nell'ambito di questa analisi è stata quindi assunta una velocità di crociera media $v_{cruise,cargo}$ pari a 6.17 m/s.

La Figura 5.3 mostra le rotte estrapolate dalle mappe di densità relative alla categoria CARGO. Il flusso complessivo è ripartito su sei macro rotte.

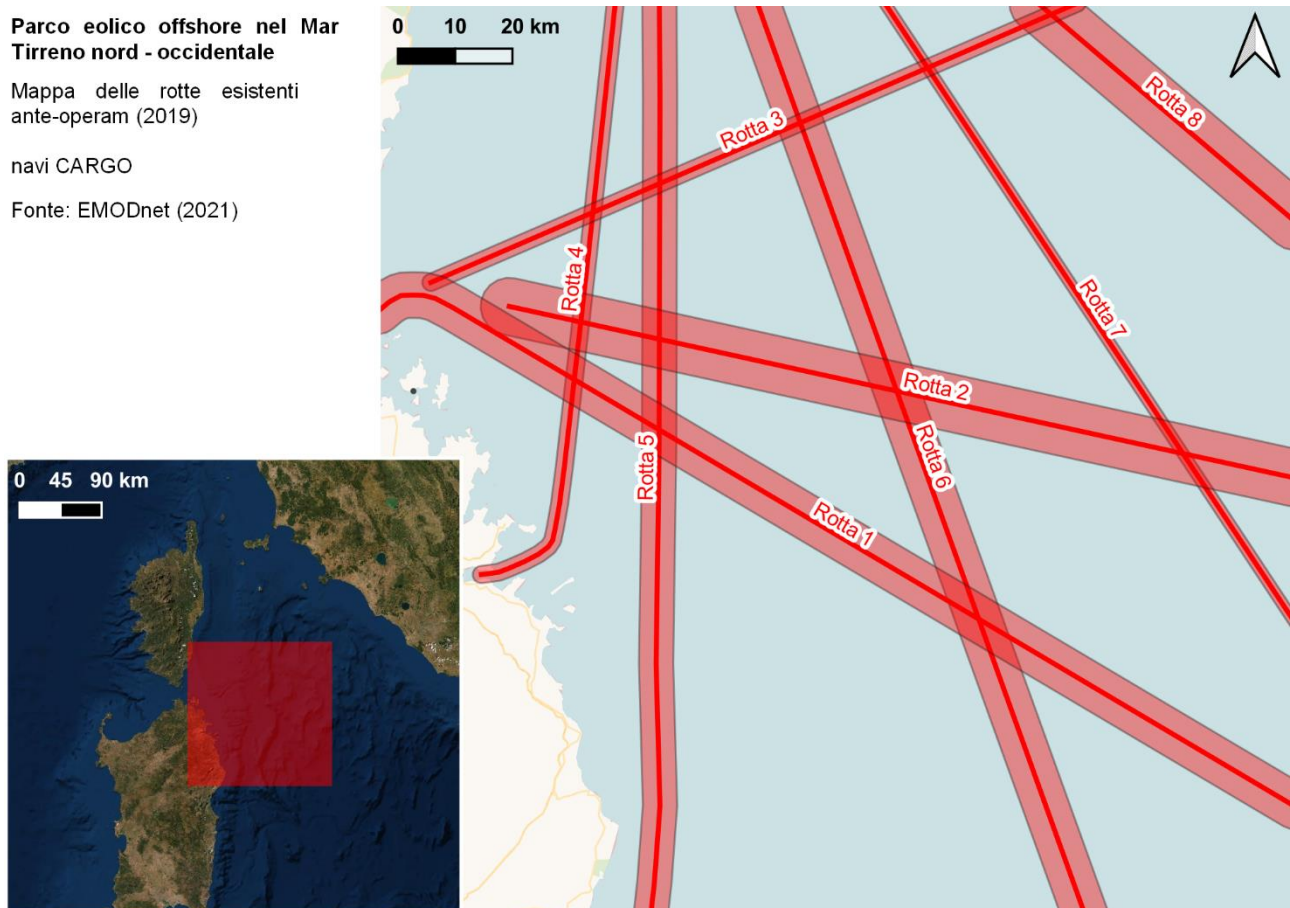


Figura 5.3 – Elaborazione delle rotte di imbarcazioni CARGO.

Elaborazione iLStudio.

I relativi parametri statistici, ovvero le deviazioni standard dell'offset laterale σ_x e della deviazione angolare σ_θ , desunti dalle mappe di densità del traffico sono riportati in Tabella 5.1.

Tabella 5.1 – Statistiche delle rotte di navi CARGO.

Elaborazione iLStudio.

Rotta	Frequenza di navigazione [navi/anno]	Lunghezza [km]	Ampiezza media [km]	Dev. Std. σ_x [km]	Dev. Std. σ_θ [deg]
1	747	185	8	1.3	15
2	477	140	10	1.7	15
3	217	123	2	0.3	15
4	793	109	3	0.5	15
5	827	160	6	1.0	15
6	357	170	8	1.3	15
7	40	130	2	0.3	15
8	720	59	10	1.7	15

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 17 di 36

Alla luce della posizione geografica del parco eolico, così come evidente in Figura 5.4, non è risultato necessario tracciare nuovamente alcuna rotta di quelle già esistenti.

Nel modello di calcolo si è deciso di dividere ogni rotta in trattini di lunghezza pari ad 0.1 km.


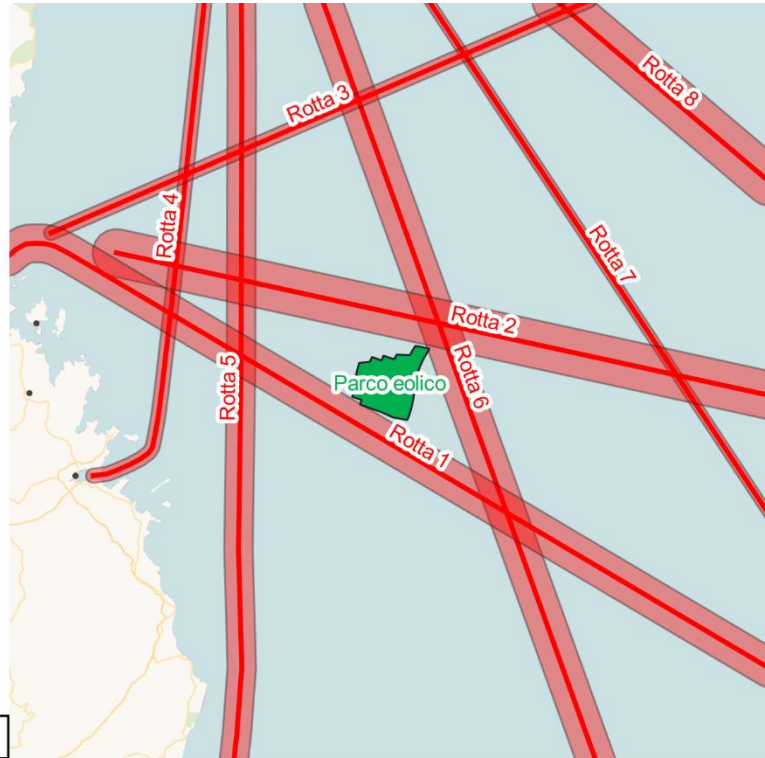
Parco eolico offshore nel Mar Tirreno nord - occidentale

Variazione delle rotte esistenti

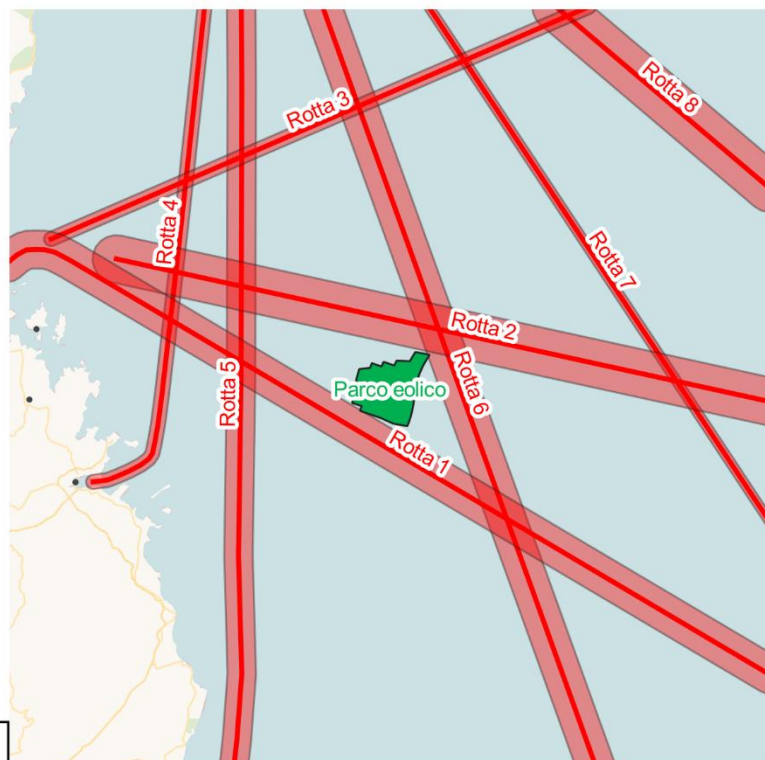
navi CARGO

Fonte: EMODnet (2021)

0 10 20 km

Rotte esistenti ante-operam



Rotte previste post-operam

Figura 5.4 – Variazione delle rotte esistenti per navi CARGO.

Elaborazione iLStudio.

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 18 di 36

5.2. Navi tanker per il trasporto di combustibili in forma liquida o gassosa

Rientrano in questa categoria le navi destinate al trasporto di combustibili liquidi o gassosi con indice di stazza lorda GT (gross tonnage) media tra 4000 e 140000. Per tali imbarcazioni può assumersi una velocità di crociera variabile tra 5.1 e 8.2 m/s (corrispondenti a 10 e 16 nodi). Per questa analisi si è considerato un valor medio di velocità $v_{cruise,tanker}$ pari a 6.7 m/s. La Figura 5.5 mostra le rotte estrapolate dalle mappe di densità relative alla categoria TANKER. Il flusso complessivo è ripartito su due macro rotte.

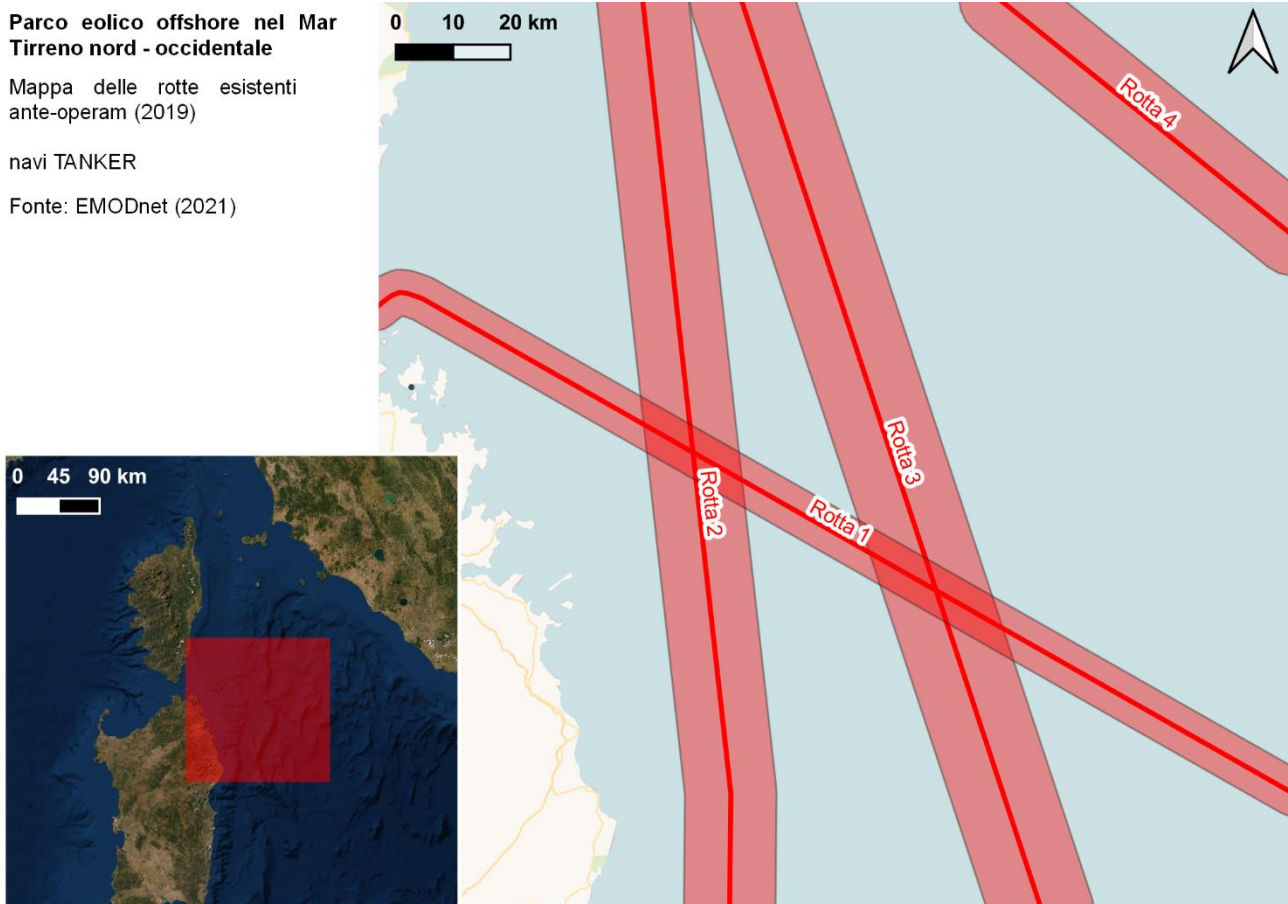


Figura 5.5 – Elaborazione delle rotte di imbarcazioni TANKER.

Elaborazione iLStudio.

I relativi parametri statistici, ovvero le deviazioni standard dell'offset laterale σ_x e della deviazione angolare σ_θ , desunti dalle mappe di densità del traffico sono riportati in Tabella 5.2.

Tabella 5.2 – Statistiche delle rotte di navi TANKER.

Elaborazione iLStudio.

Rotta	Frequenza di navigazione [navi/anno]	Lunghezza [km]	Ampiezza media [km]	Dev. Std. σ_x [km]	Dev. Std. σ_θ [deg]
1	64	184	8	1.3	15
2	198	161	16	2.7	15
3	371	168	18	3.0	15
4	214	66	14	2.3	15

Nel modello di calcolo si è deciso di dividere ogni rotta in trattini di lunghezza pari ad 0.1 km.

In questo caso, come si può notare dalla Figura 5.6, è stato necessario ridisegnare la rotta 3 che, secondo l'attuale configurazione, interseca l'area del parco eolico offshore. La nuova rotta tracciata risulta più defilata

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 19 di 36

rispetto al parco e, ai fini del calcolo, questa conserva le stesse proprietà di frequenza di navigazione (371 navi/anno) ed ampiezza (18 km) della precedente.


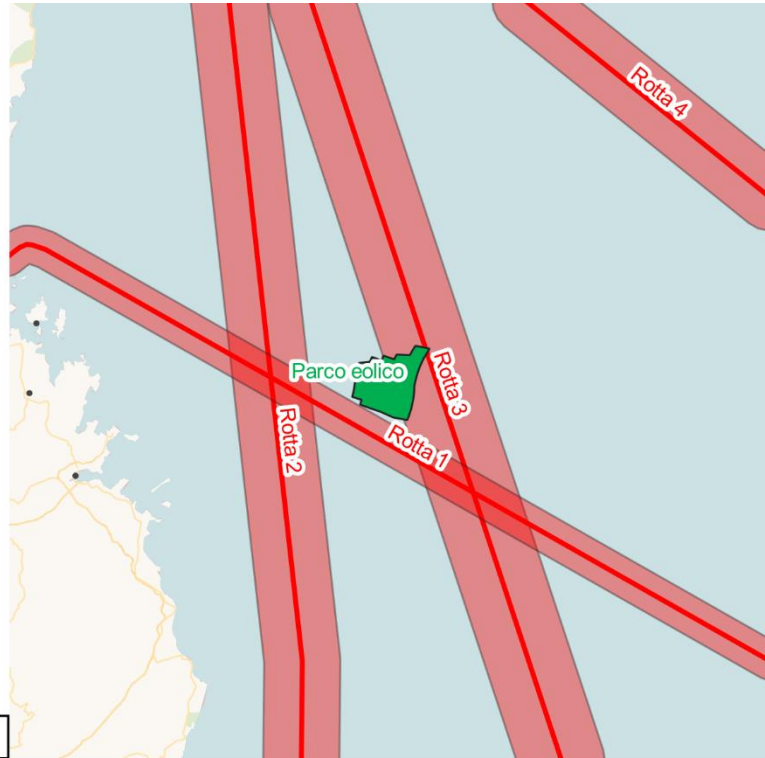
Parco eolico offshore nel Mar Tirreno nord - occidentale

Variazione delle rotte esistenti

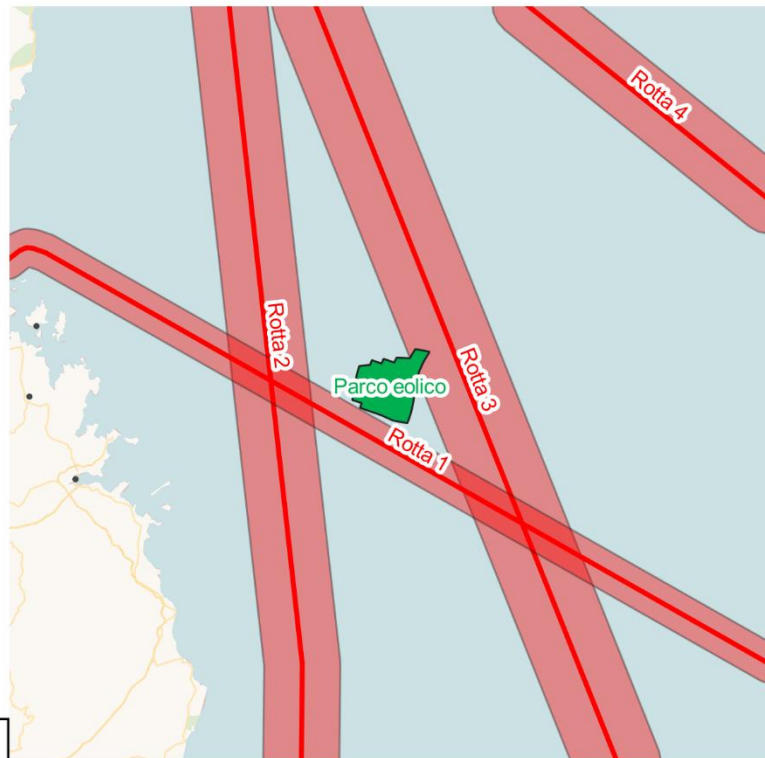
navi TANKER

Fonte: EMODnet (2021)

0 10 20 km

Rotte esistenti ante-operam



Rotte previste post-operam

Figura 5.6 – Variazione delle rotte esistenti per navi TANKER.

Elaborazione iLStudio.

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 20 di 36

5.3. Navi da crociera e/o traghetti per il trasporto di persone

A questa categoria appartengono tutte le navi per il trasporto passeggeri con indice di stazza lorda GT (gross tonnage) fino a circa 30000. La velocità media di crociera è variabile tra 5.1 e 9.2 m/s (corrispondenti a 10 e 18 nodi). È stata quindi assunta una velocità media di crociera $v_{cruise,passenger}$ pari a 7.2 m/s.

La Figura 5.7 mostra le rotte estrapolate dalle mappe di densità relative alla categoria PASSENGER. Il flusso complessivo è ripartito su cinque macro rotte.

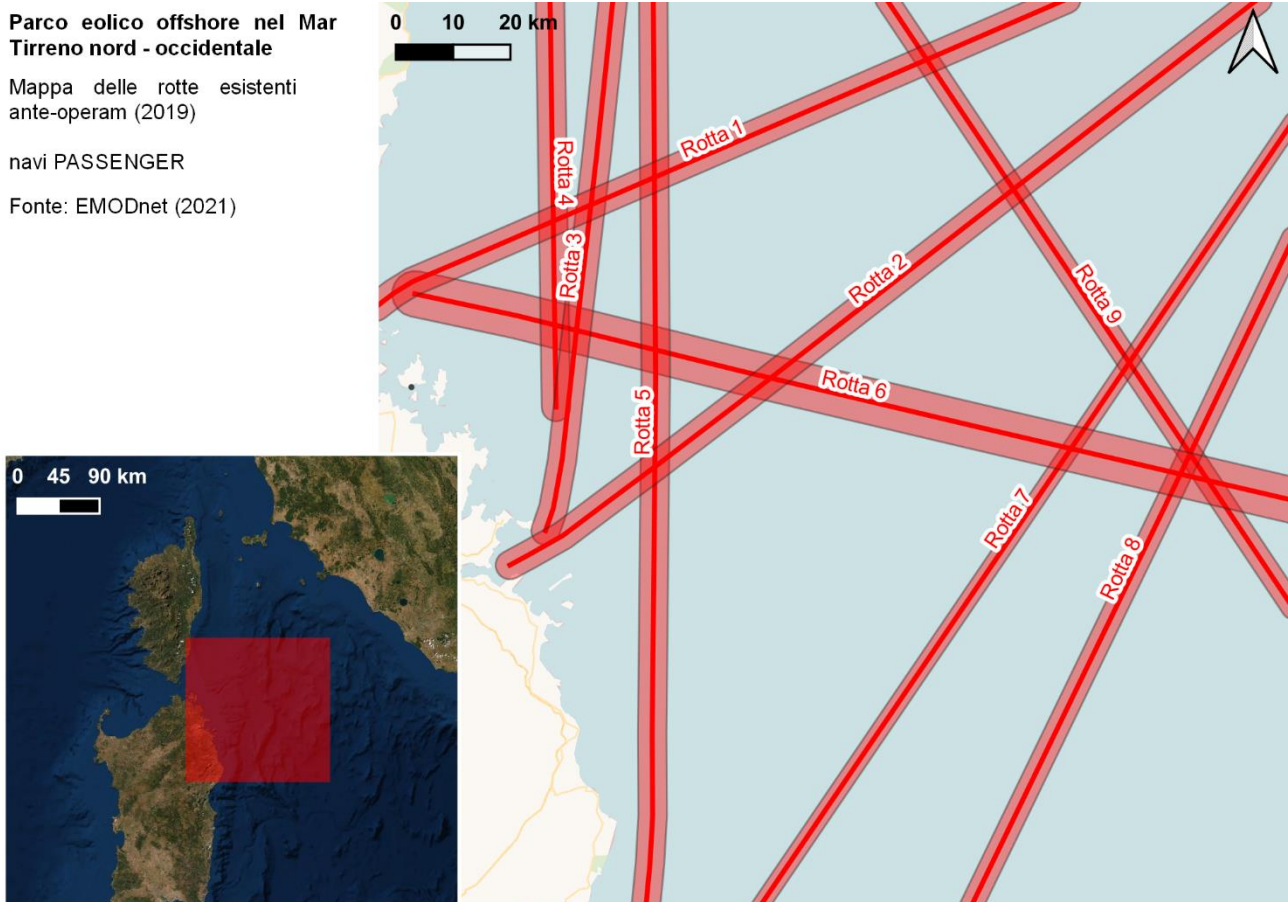


Figura 5.7 – Elaborazione delle rotte di imbarcazioni PASSENGER.

Elaborazione iLStudio.

I relativi parametri statistici, ovvero le deviazioni standard dell'offset laterale σ_x e della deviazione angolare σ_θ , desunti dalle mappe di densità del traffico sono riportati in Tabella 5.3.

Tabella 5.3 – Statistiche delle rotte di navi PASSENGER.

Elaborazione iLStudio.

Rotta	Frequenza di navigazione [navi/anno]	Lunghezza [km]	Ampiezza media [km]	Dev. Std. σ_x [km]	Dev. Std. σ_θ [deg]
1	604	132	5	0.8	15
2	1035	164	5	0.8	15
3	2372	94	5	0.8	15
4	1072	71	5	0.8	15
5	348	160	5	0.8	15
6	389	157	8	1.3	15
7	94	168	3	0.5	15
8	136	131	4	0.7	15
9	139	128	4	0.7	15

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 21 di 36

Alla luce della posizione geografica del parco eolico, così come evidente in Figura 5.8, non è risultato necessario tracciare nuovamente alcuna rotta di quelle già esistenti.

Nel modello di calcolo si è deciso di dividere ogni rotta in tratti di lunghezza pari ad 0.1 km.

Parco eolico offshore nel Mar Tirreno nord - occidentale

Variatione delle rotte esistenti

navi PASSENGER

Fonte: EMODnet (2021)

0 10 20 km

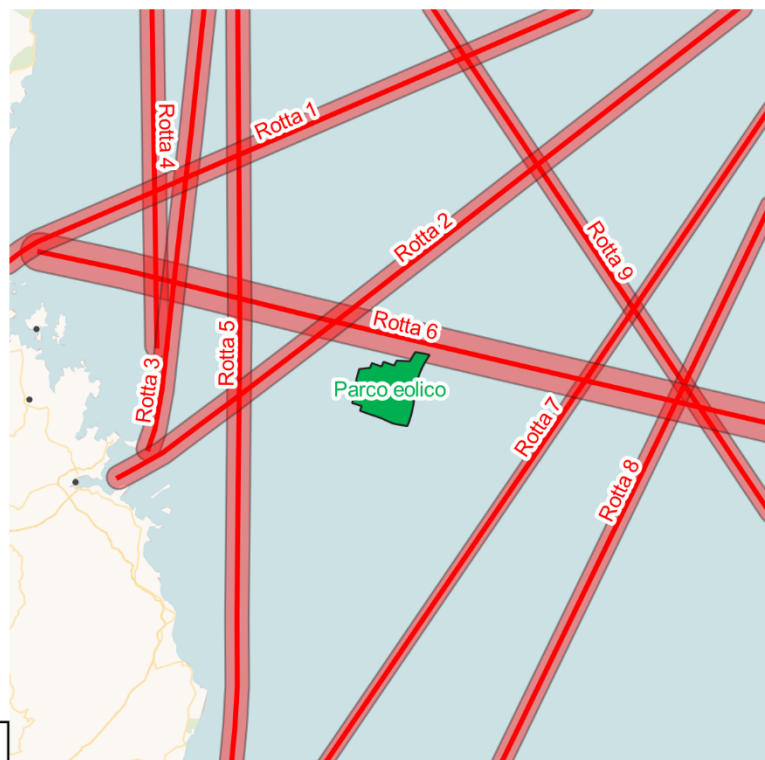
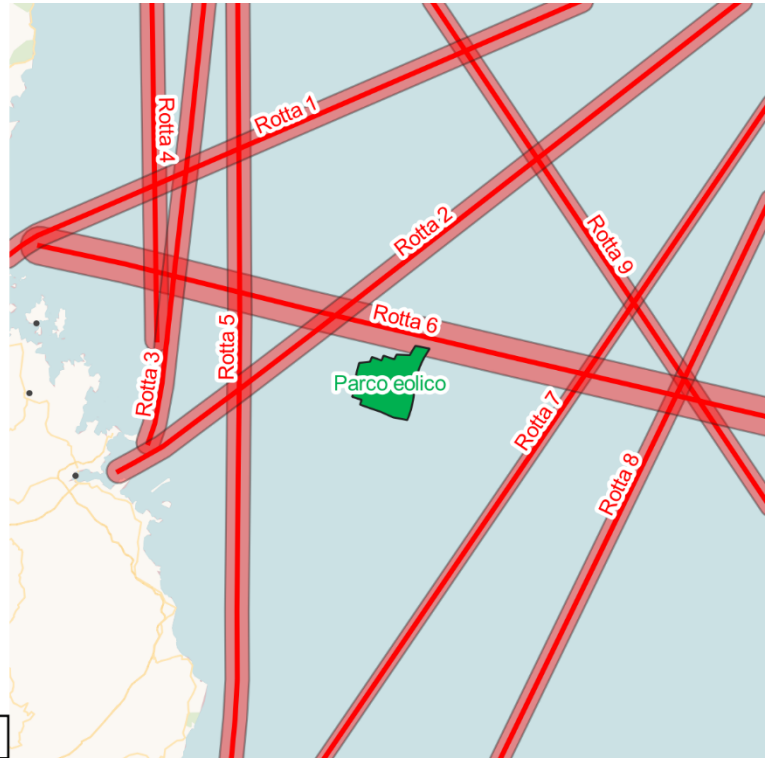


Figura 5.8 – Variazione delle rotte esistenti per navi PASSENGER.

Elaborazione iLStudio.

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 22 di 36

5.4. Navi da pesca

Il traffico delle navi da pesca è generalmente divisibile in due gruppi, quello dei pescherecci in transito, tra la costa e la zona di pesca, e quello delle imbarcazioni pressoché stazionarie coinvolte nell'attività di pesca. Queste ultime sono generalmente in moto a bassa velocità e si muovono senza seguire rotte prestabilite. Questa caratteristica è ben evidenziata Figura 5.2 ove si osserva una forte dispersione del traffico che rende impossibile l'individuazione di rotte macroscopiche se non in prossimità della costa.

Tuttavia, ai fini del presente studio, si è deciso di trascurare gli effetti dovuti alla presenza di imbarcazioni adibite ad attività di pesca in prossimità dell'area del parco eolico. Questa scelta è giustificata dalle seguenti considerazioni.

I bastimenti adibiti alla pesca sono caratterizzati da dislocamenti molto ridotti (stazza lorda a pieno carico 10-50 GT) se confrontati con i rispettivi di navi tanker o general cargo. A valle di ciò nel caso estremo di impatto, non si ritiene che tali imbarcazioni possano arrecare danni sostanziali alle strutture galleggianti del parco eolico (Vinnem, 2014).

Anche per le modeste dimensioni, le imbarcazioni da pesca possiedono caratteristiche di manovrabilità decisamente migliori rispetto a navi di stazza medio grande. Ciò permette una maggiore possibilità di correggere la rotta o comunque di effettuare manovre per evitare collisioni in tempi relativamente ridotti.

5.5. Riepilogo parametri rotte

La Tabella 5.4 riporta il consuntivo dei parametri di calcolo relativi alle sole rotte prese in esame.

Tabella 5.4 – Riepilogo dei parametri delle rotte esaminate.

Elaborazione iLStudio.

Tipologia nave	Rotta	Freq. di navigazione [navi/anno]	Lung. [km]	Amp. media [km]	Velocità di crociera [m/s]	Indice stazza lorda [GT]	Dev. Std. σ_x [km]	Dev. Std. σ_θ [deg]
CARGO	1	747	185	8	6.17	5000 / 100000	1.3	15
	2	477	140	10	6.17	5000 / 100000	1.7	15
	3	217	123	2	6.17	5000 / 100000	0.3	15
	4	793	109	3	6.17	5000 / 100000	0.5	15
	5	827	160	6	6.17	5000 / 100000	1.0	15
	6	357	170	8	6.17	5000 / 100000	1.3	15
	7	40	130	2	6.17	5000 / 100000	0.3	15
	8	720	59	10	6.17	5000 / 100000	1.7	15
TANKER	1	64	184	8	6.7	4000 / 140000	1.3	15
	2	198	161	16	6.7	4000 / 140000	2.7	15
	3	371	168	18	6.7	4000 / 140000	3.0	15
	4	214	66	14	6.7	4000 / 140000	2.3	15
PASSENGER	1	604	132	5	7.2	< 30000	0.8	15
	2	1035	164	5	7.2	< 30000	0.8	15
	3	2372	94	5	7.2	< 30000	0.8	15
	4	1072	71	5	7.2	< 30000	0.8	15
	5	348	160	5	7.2	< 30000	0.8	15
	6	389	157	8	7.2	< 30000	1.3	15
	7	94	168	3	7.2	< 30000	0.5	15
	8	136	131	4	7.2	< 30000	0.7	15
	9	139	128	4	7.2	< 30000	0.7	15

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 23 di 36

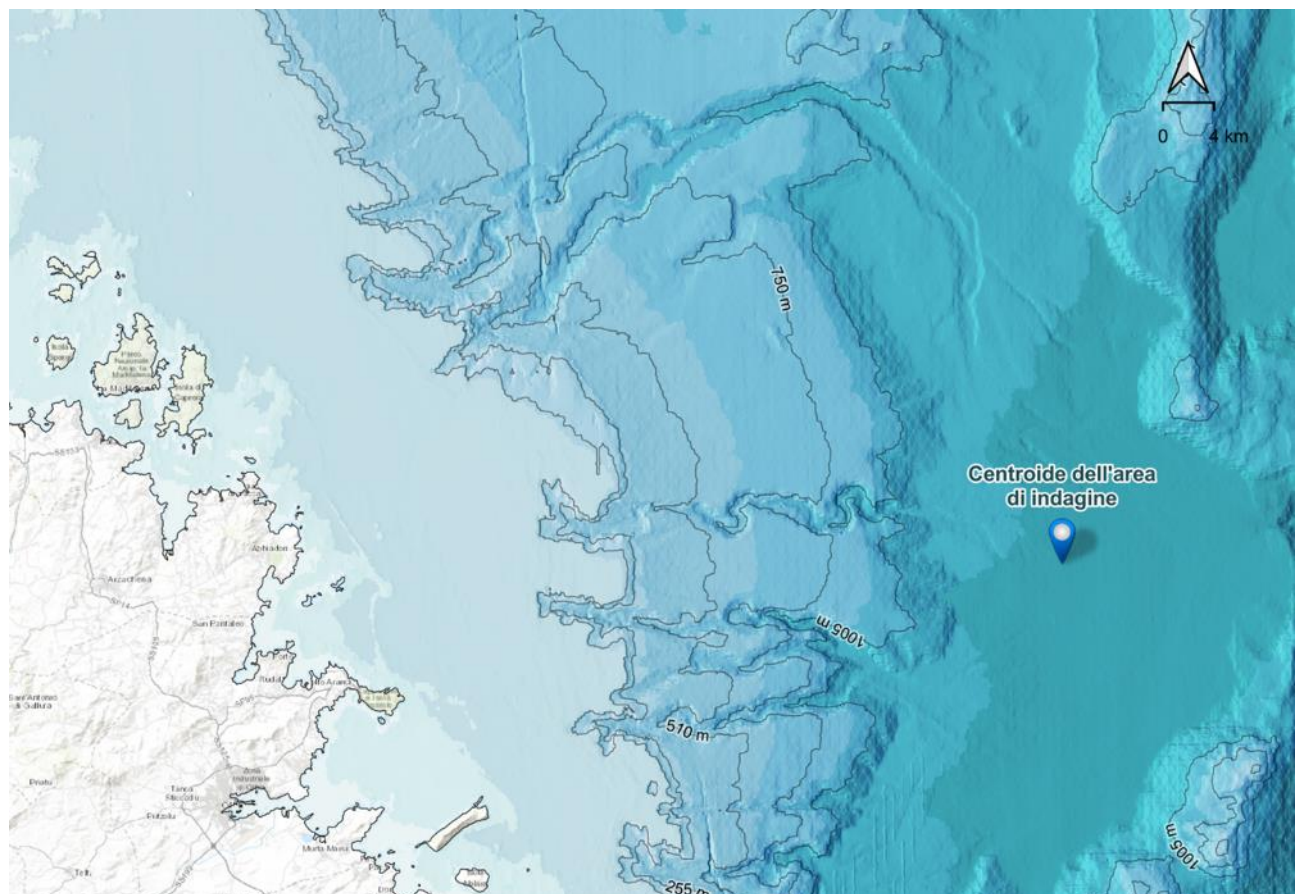
6. CONDIZIONI AMBIENTALI E CLIMATICHE MEDIE DEL SITO

Le condizioni climatiche e ambientali nella zona di interesse sono efficacemente sintetizzabili attraverso le mappe batimetriche, la rosa dei venti locale (media annuale alla quota 10 m.s.l.m.) e la distribuzione delle correnti marine superficiali. Queste ultime due condizioni concorrono a caratterizzare il moto dell'imbarcazione in deriva determinandone la velocità di deriva v_{drift} e, in relazione alla distanza dal parco, il tempo totale disponibile per effettuare una manovra di emergenza prima che si manifesti l'impatto.

6.1. Zone di potenziale arenamento

La Figura 6.1 mostra il profilo batimetrico nella zona di indagine (EMODnet, 2021). Considerando una profondità minima compatibile con un pescaggio di 20 m, in linea con i requisiti di navigabilità per una nave tanker di grosse dimensioni, si osserva come, sull'intera estensione della regione di indagine, il livello batimetrico sia comunque superiore a tal valore minimo.

In ragione di ciò, nella valutazione di rischio, non è stata considerata la possibilità di arenamento dell'imbarcazione sull'intera estensione delle rotte considerate.



PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE

Caratteristiche morfologiche dei fondali - livelli batimetrici.

Elaborazione iLStudio su dati (EMODnet Bathymetry, 2021)

LEGENDA

Batimetria, m	2535 - 2786	1673 - 1936	1022 - 1197	591 - 726	192 - 300	90 - 114	26 - 48
	≥3041	2241 - 2535	1437 - 1673	871 - 1022	438 - 591	141 - 192	70 - 90
	2786 - 3041	1936 - 2241	1197 - 1437	726 - 871	300 - 438	114 - 141	48 - 70

Figura 6.1 – Mappa batimetrica della zona indagata.

Elaborazione iLStudio su dati (EMODnet, 2021).

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 24 di 36

6.2. Rosa dei venti

Viste le relative caratteristiche orografiche (mare aperto), il regime e la distribuzione del vento sono stati modellati assumendo ovunque valida, nell'area di indagine, la rosa dei venti media annuale estrapolata dalle analisi dei dati anemometrici in prossimità della località del parco, a partire da dati storici (dal 1979 ad oggi, (DHI, 2020)). I dati storici sono riferiti alla quota altimetrica di 10 m.s.l.m, dando origine alla rosa dei venti mostrata in Figura 6.2.

ROSA DEI VENTI PER LA LOCALITÀ DI PROGETTO @ 10 mMSL

dati secondo DHI - Climate Forecast System Reanalysis (CFSR), NCEP NOAA
coordinate WGS 84 / UTM zone 32N: 607265E, 4549074N

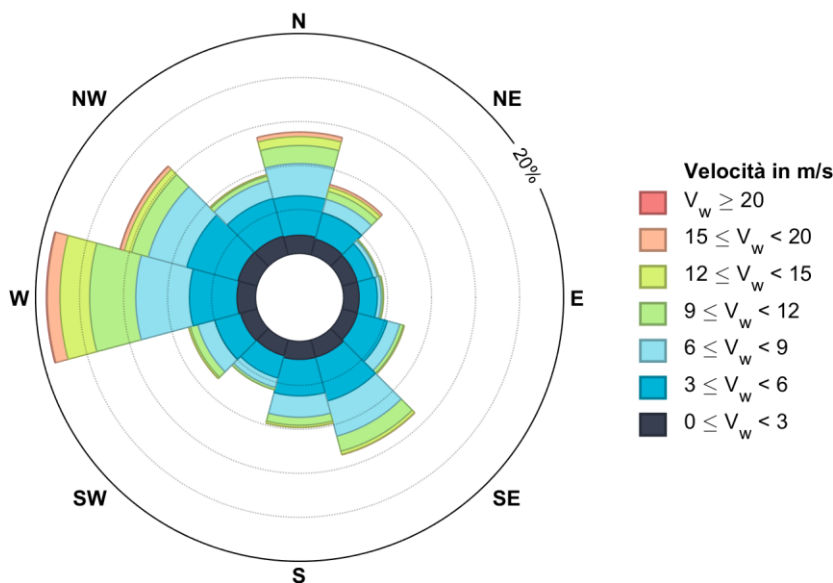


Figura 6.2 – Rosa dei venti per la località di progetto.

Elaborazione iLStudio su dati (DHI, 2020).

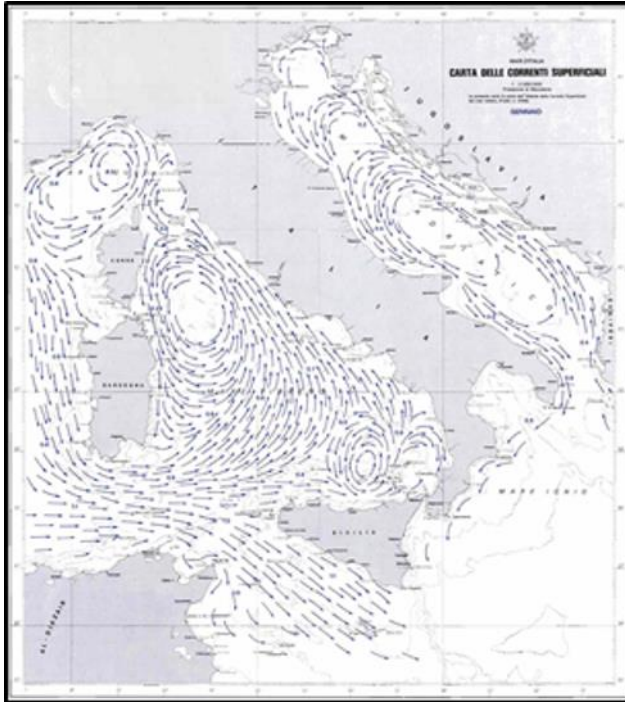
6.3. Correnti marine

Nel bacino del Mediterraneo le correnti superficiali sono solitamente di debole intensità e direzione variabile. La circolazione superficiale è fortemente influenzata dai venti che al largo possono generare correnti di intensità massima attorno a 0.3 m/s.

A livello di macro area, per il bacino del Mediterraneo l'evaporazione non è compensata dall'apporto di acqua fluviale e piovana ed è sempre presente una corrente entrante da ovest in corrispondenza dello Stretto di Gibilterra. Questa corrente si spinge verso est dividendosi in un ramo principale e diversi rami secondari.

Il ramo principale, sotto l'effetto della forza di Coriolis, ripiega verso destra addossandosi alle coste africane e perdendo gran parte dell'intensità fino ad estinguersi. Lungo la penisola italiana invece si sviluppa una corrente modesta di circa 0.08 m/s che muove verso nord salendo lungo le coste del Tirreno e che devia verso ovest per poi ridiscendere in corrispondenza della Sardegna. Per l'intera Sardegna, la velocità della corrente marina è stimabile in circa 0.1 m/s con orientamento prevalente lungo le coste in direzione nord – sud come evidenziato nelle mappe dell'Istituto Idrografico della Marina (Istituto Idrografico della Marina, 1982) riportate per i diversi mesi dell'anno nelle figure a seguire (da Figura 6.3 a Figura 6.5).

Ai fini dello studio, si è assunto di considerare la condizione peggiore possibile, supponendo il verso della corrente concorde con quello del vento nella direzione di collisione. La velocità della corrente è stata infine assunta pari ad un valore conservativo di 0.5 m/s.



GENNAIO



FEBBRAIO



MARZO

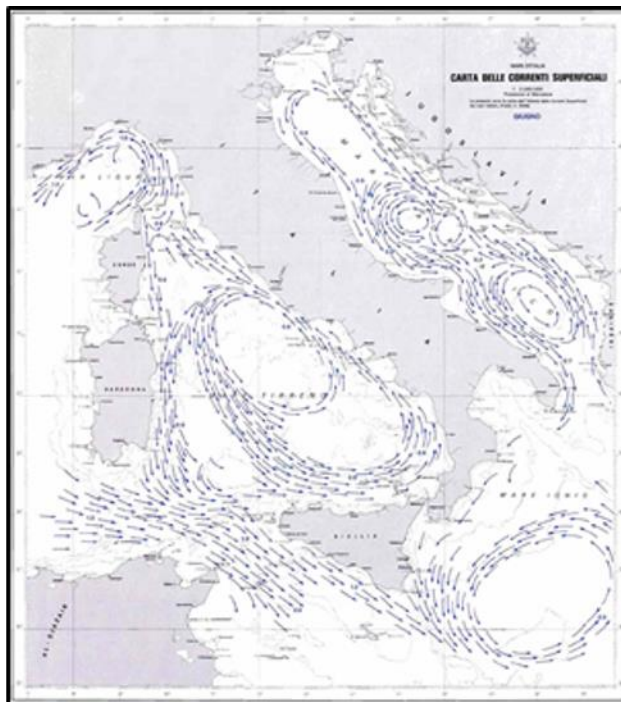


APRILE

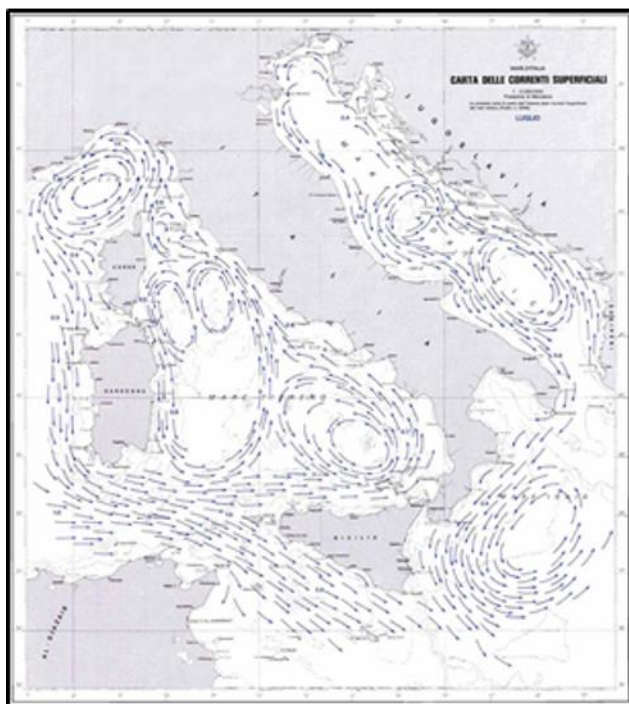
Figura 6.3 – Mappa delle correnti marine per i mesi di gennaio, febbraio, marzo e aprile.
(Istituto Idrografico della Marina, 1982).



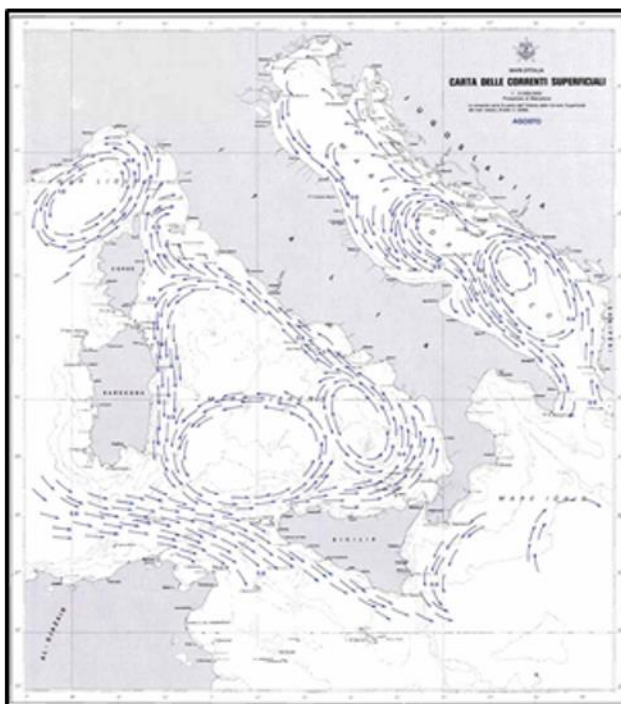
MAGGIO



GIUGNO



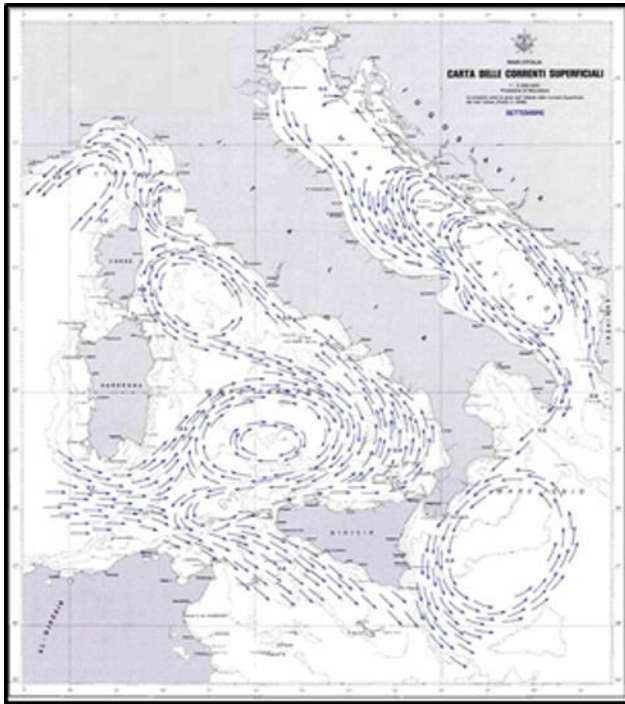
LUGLIO



AGOSTO

Figura 6.4 – Mappa delle correnti marine per i mesi di maggio, giugno, luglio e agosto.
(Istituto Idrografico della Marina, 1982).

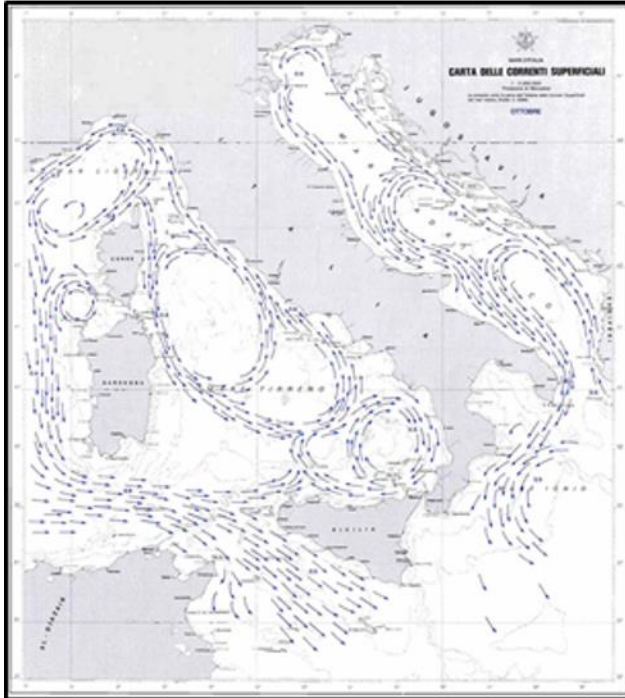
PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 27 di 36



SETTEMBRE



OTTOBRE



NOVEMBRE



DICEMBRE

Figura 6.5 – Mappa delle correnti marine per i mesi di settembre, ottobre, novembre e dicembre.
(Istituto Idrografico della Marina, 1982).

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 28 di 36

7. ANDAMENTO DEL TRAFFICO MARITTIMO - QUADRIENNIO 2017-20

Prima di procedere al calcolo delle frequenze di impatto, è stato indagato il trend del traffico marittimo sul quadriennio 2017-2020, col fine di scegliere adeguatamente i dati di input che rendano più conservativi i risultati finali.

Nella presente sezione si riporta una quantificazione del traffico marittimo in numero di navi all'anno, relativo al 2017, 2018, 2019 e 2020 per le rotte tracciate nei paragrafi 5.1, 5.2, 5.3.

I dati sono riportati sia in forma tabellare che grafica.

Tabella 7.1 – Traffico marittimo per il quadriennio 2017-2020.

Elaborazione iLStudio dai dati (EMODnet, 2021).

Tipologia Imbarcazione	Rotta	2017	2018	2019	2020
CARGO	1	647	844	747	635
	2	356	505	477	418
	3	153	221	217	120
	4	716	1366	793	467
	5	780	1021	827	786
	6	213	319	357	283
	7	39	34	40	43
	8	412	497	720	569
TANKER	1	36	54	64	45
	2	136	147	198	141
	3	249	370	371	257
	4	139	157	214	162
PASSENGER	1	529	617	604	427
	2	902	378	1035	802
	3	2571	2387	2372	1912
	4	781	1002	1072	833
	5	346	181	348	174
	6	336	368	389	240
	7	59	71	94	86
	8	115	81	136	106
	9	103	122	139	122

[navi/anno]

Dai dati riportati in Tabella 7.1 si nota in generale un trend crescente del numero di imbarcazioni a partire dal 2017 sino al 2019, eccetto che per alcune rotte CARGO.

Il dato più rappresentativo che si evince è causato dalla pandemia COVID-19 che ha influito negativamente sul trasporto delle merci via terra e via mare durante l'anno solare 2020. Si registra quindi un "crollo" negativo del numero di navi per anno, pari a circa il 21% per navi CARGO, 29% per navi TANKER e 24% per navi PASSENGER.

A valle di ciò, per la premessa riportata all'inizio del paragrafo, si è scelto di utilizzare come dati di input per il modello di calcolo, i valori di traffico navale riferiti all'anno solare 2019.

A seguire, i dati di traffico del quadriennio sono riportati in forma grafica.

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 29 di 36

Trend del traffico marittimo - quadriennio 2017-18-19-20
Valori per classe di imbarcazione, cumulati sulle rotte

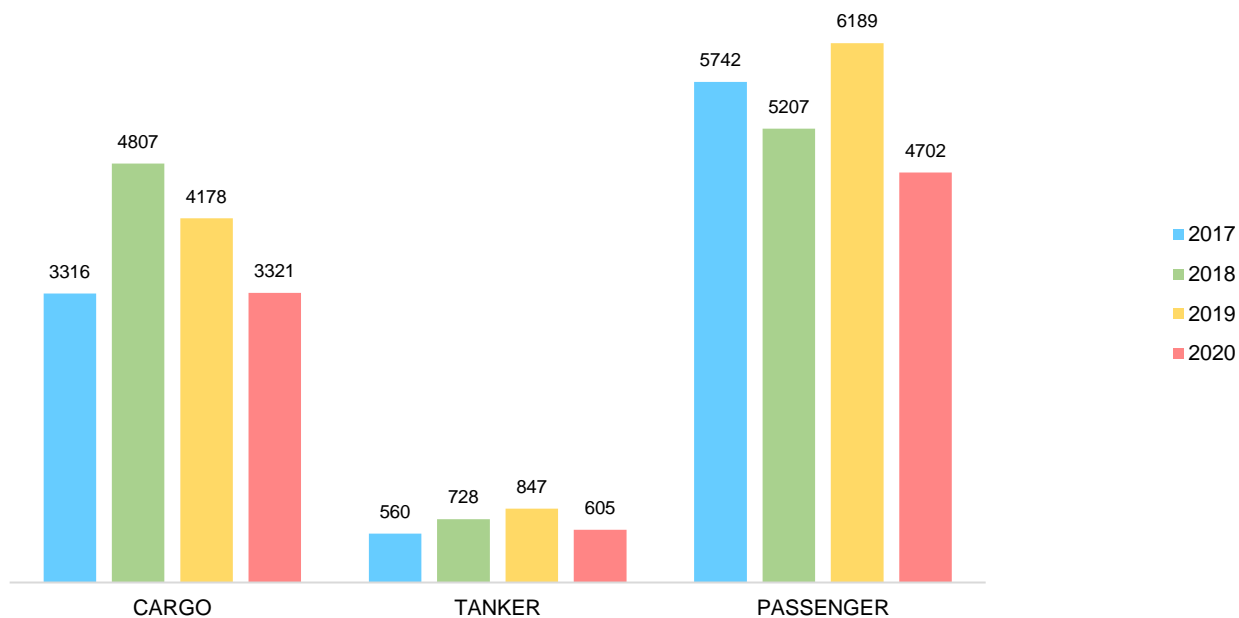


Figura 7.1 – Andamento del traffico marittimo nel quadriennio 2017-2020.
Elaborazione iLStudio da dati (EMODnet, 2021).

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 30 di 36

8. FREQUENZE DI IMPATTO

La frequenza di impatto contro il parco da parte delle imbarcazioni in navigazione nell'area dell'impianto è stata calcolata applicando i modelli proposti ai Paragrafi 4.1 e 4.2 con le rotte esistenti e previste per navi di tipo cargo, tanker e passenger.

I risultati sono riportati di seguito sia in forma tabellare che grafica.

Tabella 8.1 – Frequenze di impatto tra le imbarcazioni ed il parco eolico.

Elaborazione iLStudio.

Tipologia imbarcazione	Rotta	Drift collision [impatti/anno]	Powered collision [impatti/anno]	Frequenza impatti [impatti/anno]
CARGO	1	3.8979E-04	1.0109E-04	4.9088E-04
	2	5.4209E-05	3.0705E-05	8.4914E-05
	3	3.8395E-06	1.8763E-23	3.8395E-06
	4	5.0043E-05	2.3991E-17	5.0043E-05
	5	1.0011E-04	1.2955E-12	1.0011E-04
	6	4.7904E-05	1.6641E-05	6.4544E-05
	7	8.7256E-07	3.7723E-22	8.7256E-07
	8	8.7982E-07	1.9502E-33	8.7982E-07
TANKER	1	3.6006E-05	6.6888E-06	4.2695E-05
	2	3.7309E-05	1.0713E-07	3.7416E-05
	3	5.0006E-05	8.5614E-05	1.3562E-04
	4	3.4218E-07	9.4602E-31	3.4218E-07
PASSENGER	1	1.9019E-05	4.6639E-23	1.9019E-05
	2	3.1161E-04	1.0189E-07	3.1171E-04
	3	2.3473E-04	3.8524E-18	2.3473E-04
	4	2.9162E-05	1.8097E-19	2.9162E-05
	5	6.7905E-05	3.1862E-13	6.7905E-05
	6	1.0738E-04	1.3013E-04	2.3751E-04
	7	1.9108E-05	2.5758E-14	1.9108E-05
	8	7.2439E-06	5.2833E-23	7.2439E-06
	9	5.0138E-06	8.0742E-22	5.0138E-06
Totale [impatti/anno]		1.5725E-03	3.7108E-04	1.9436E-03
Periodo tra 2 impatti consecutivi [anni]		636	2695	515

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE		
Valutazione dei rischi della navigazione			
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 31 di 36	

Frequenza (periodo) impatti
Valori per classe di imbarcazione

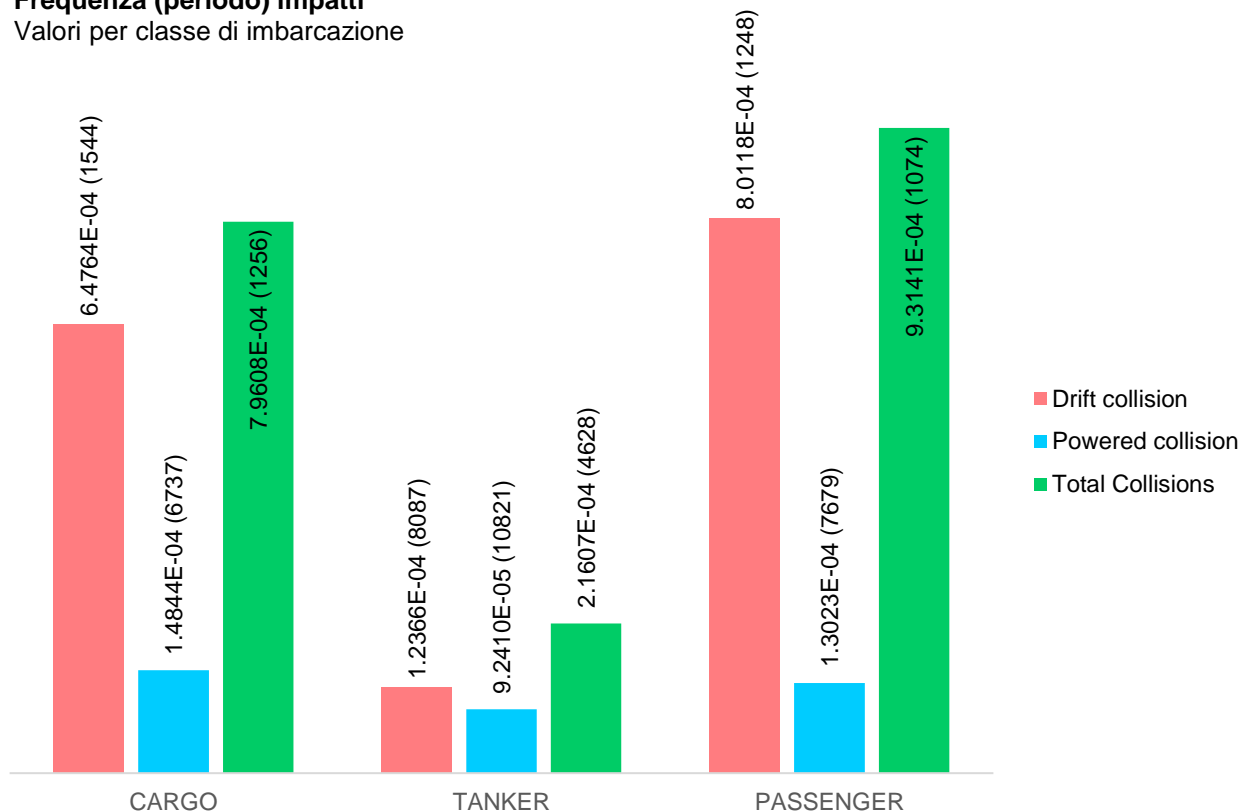


Figura 8.1 – Frequenze di impatto tra le imbarcazioni ed il parco eolico.
Elaborazione iLStudio.

Il maggior contributo è associato alla modalità di collisione per deriva con una frequenza annuale, cumulata sulle diverse tipologie di imbarcazioni, pari a 1.5725E-03 impatti/anno, cui corrisponde un periodo stimato tra due incidenti successivi pari 636 anni. Invece, alla modalità di impatto per errata rotta è associata una frequenza pari a 3.7108E-04 impatti/anno cui corrisponde un periodo di ritorno di 2695 anni.

Per categoria di imbarcazione, guardando ai risultati aggregati rispetto alla modalità di impatto, si ottengono periodi di impatto pari a 1256, 4628 e 1074 anni rispettivamente per le tipologie di nave CARGO, TANKER e PASSENGER.

Nel rapporto dell'analisi di rischio di GL per il parco eolico "Thornton Bank" in Belgio, la valutazione di accettabilità è stata effettuata in riferimento alla matrice di frequenza riportata di seguito (SSPA Sweden AB, 2008).

Tabella 8.2 – Criterio generale di accettabilità del rischio di impatto navale.
(SSPA Sweden AB, 2008).

Frequenza quantitativa [impatto/anno] (safety)	> 10 ⁻¹	Tra 10 ⁻¹ e 10 ⁻²	Tra 10 ⁻² e 10 ⁻³	< 10 ⁻³
Frequenza quantitativa [impatto/anno] (environment)	> 2 x 10 ⁻¹	Tra 2 x 10 ⁻¹ e 2 x 10 ⁻²	Tra 2 x 10 ⁻² e 2 x 10 ⁻³	< 2 x 10 ⁻³
Frequenza qualitativa (safety)	Probabile	Improbabile	Improbabile	Estremamente improbabile
Frequenza qualitativa (environment)	Frequente	Remoto	Estremamente remoto	Estremamente improbabile

Considerando il caso oggetto di studio, la frequenza totale di impatto che considera i contributi delle tre tipologie di imbarcazione e delle due modalità di impatto, porta ad un valore massimo di 1.9436E-03

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 32 di 36

impatti/anno, a cui corrisponde un periodo tra due collisioni successive pari a 515 anni. Confrontando tale risultato con i criteri riportati in Tabella 8.2 si può affermare che l'evento a frequenza massima è classificabile come "improbabile" in termini di sicurezza e come "estremamente improbabile" in termini di incidenti con ripercussioni sull'ambiente.

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 33 di 36

9. MISURE PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO

La mitigazione del rischio si effettua predisponendo soluzioni tecniche e/o procedure che consentano, in fase di realizzazione, esercizio e dismissione dell'impianto, di ridurre a livelli tollerabili sia la frequenza degli eventi incidentali sia la magnitudo delle conseguenze. Le misure di mitigazione generalmente previste sono riconducibili a tre distinte categorie:

misure che si applicano all'impianto;

misure applicabili alle navi;

misure da applicare all'intera area marittima di influenza dell'impianto.

La Tabella 9.1 riassume alcune delle soluzioni tipiche adottabili per la mitigazione del rischio di impatto contro il parco.

Tabella 9.1 – Misure possibili per la mitigazione del rischio impatto.

Elaborazione iLStudio.

Misure di mitigazione del rischio applicabili a:	Misure di mitigazione del rischio prevedibili
IMPIANTO	Predisposizione di una zona di sicurezza attorno all'impianto (tra 500 e 1000 m)
	Segnalamento luminoso delle strutture offshore
	Installazione di transponder AIS per la segnalazione real – time della posizione del parco
	Adozione di olii ecocompatibili per la lubrificazione di eventuali gearbox e l'isolamento dei trasformatori
	Adozione di sistemi di arresto d'emergenza
	Equipaggiamento delle sottostazioni con piattaforme di atterraggio elicotteri e sistemi di ormeggio per rimorchiatori e mezzi di emergenza
	Marcatura delle turbine con ID univoci per semplificare gli interventi di emergenza
	Protezione dei cavi sottomarini per evitare lo strappamento durante le operazioni di ancoraggio di emergenza
AREA MARITTIMA DI INFLUENZA	Monitoraggio costante del traffico nell'intorno del parco con sistemi VTM (Vessel Traffic Management)
	Marcatura dell'area impiantistica come zona interdetta al traffico e tempestivo aggiornamento delle carte nautiche e aeronautiche

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 34 di 36

10. CONCLUSIONI

Le stime effettuate della frequenza di impatto navale contro il parco, ottenute con criterio oggettivo, evidenziano come la presenza del parco eolico non influenzi in maniera significativa l'attuale contesto marittimo. Infatti, l'accurato posizionamento del parco rende l'evento incidentale probabilisticamente insignificante con un periodo stimato tra due incidenti successivi pari ad almeno 515 anni. L'adozione di ulteriori accorgimenti per la mitigazione del rischio, alcuni dei quali descritti al capitolo "MISURE PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO", costituisce inoltre una ulteriore garanzia di sicurezza dell'installazione.

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 35 di 36

RIFERIMENTI

DHI, 2020. *MetOcean Data Portal, On demand data and analytics globally*. [Online]

Available at: <http://www.metocean-on-demand.com>

EMODnet, 2021. *EMODnet Human Activities*. [Online]

Available at: <http://www.emodnet-humanactivities.eu/view-data.php>

Falco, L. et al., 2019. *EU Vessel density map - Detailed Method*, s.l.: EMODnet.

Istituto Idrografico della Marina, 1982. *Atlante delle correnti superficiali dei mari italiani*, Genova: Istituto Idrografico della Marina.

MarineTraffic, 2021. *MarineTraffic: Global ship tracking intelligence*. [Online]

Available at: <http://www.marinetraffic.com>

MARIN, n.d. *Report No.18591.620/TECH_DOC/2 - Contact drift model*, s.l.: MARIN.

SSPA Sweden AB, 2008. *Methodology for assessing risks to ship traffic from offshore wind farms*, s.l.: SSPA.

Vinnem, J.-E., 2014. *Offshore risk assessment*. Londra: Springer.

PROGETTO PRELIMINARE	PARCO EOLICO OFFSHORE NEL MAR TIRRENO NORD - OCCIDENTALE	
Valutazione dei rischi della navigazione		
Codice documento: F0122LR07IMPNAV00a	Data emissione: Maggio 2022	Pagina 36 di 36

Il presente documento, composto da n. 43 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 del Progettista.

Taranto, Maggio 2022

Dott. Ing. Luigi Severini

Hanno collaborato alla redazione degli studi:

<i>ing. Alessandro Severini</i>	iLStudio srl	<i>Coordinamento multidisciplinare</i>
<i>ing. Lorenzo Carrieri</i>	iLStudio srl	<i>Analisi numeriche e modellistica computazionale</i>
<i>ing. Carlo Franchini</i>	iLStudio srl	<i>Analisi numeriche e modellistica computazionale</i>
<i>ing. Sara Bray</i>	Nicetechnology srl	<i>Studio ambientale e geotecnico</i>
<i>ing. Antonio Di Cosola</i>	iLStudio srl	<i>Studio ambientale e territoriale</i>
<i>ing. Carmine Rizzo</i>	iLStudio srl	<i>Studio ambientale e territoriale</i>
<i>geol. Raffaele Sassone</i>	iLStudio srl	<i>Studio geologico e idrogeologico</i>
<i>dott.ssa Simona Capozza</i>	Nicetechnology srl	<i>Analisi normativa e procedurale</i>
<i>dott. Pierfrancesco Severini</i>	iLStudio srl	<i>Studio ambientale</i>
<i>p.i. Daniele Donadei</i>	iLStudio srl	<i>Elaborazioni CAD/GIS</i>
<i>rag. Paola Digiacomo</i>	iLStudio srl	<i>Analisi procedurale e editing</i>