



Kailia Energia S.r.l.

Progetto preliminare per la realizzazione di un parco eolico offshore - Brindisi - Kailia Energia

Relazione di valutazione del rischio legato alla navigazione

Doc. No. P0025305-1-BRD-H07 Rev.01 - Settembre 2021

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Data
1	Seconda Emissione	Cristian Colombini	Marco Pontiggia	G. Uguccioni/ S.Sadowski/R.Zacone	17/09/2021
0	Prima Emissione	Cristian Colombini	Marco Pontiggia	G. Uguccioni/ S.Sadowski/R.Zacone	28/07/2021

Tutti i diritti, traduzione inclusa, sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali, senza il permesso scritto di RINA Consulting S.p.A.

INDICE

	Pag.
LISTA DELLE TABELLE	2
LISTA DELLE FIGURE	2
ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	3
1 PREMESSA BRINDISI KAILIA ENERGIA	4
1.1 SCOPO DEL DOCUMENTO	4
2 INFORMAZIONI RELATIVE AL CAMPO EOLICO BRINDISI KAILIA ENERGIA	5
3 METODOLOGIA	9
3.1 IDENTIFICAZIONE DEGLI SCENARI DI INTERAZIONE	9
3.2 CALCOLO DELLE FREQUENZE DI INTERAZIONE	9
3.2.1 Analisi del traffico marittimo	9
3.2.2 Interazione con gli aerogeneratori	10
3.2.3 Interazione con i cavidotti	13
4 ASSUNZIONI E IPOTESI ALLA BASE DEI RISULTATI	17
4.1 AEROGENERATORI	17
4.2 CAVIDOTTI	20
5 RISULTATI	21
5.1 TRAFFICO MARITTIMO	21
5.2 FREQUENZE DI INTERAZIONE	24
5.2.1 Aerogeneratori	24
5.2.2 Cavidotti	28
6 MISURE MITIGATIVE	36
6.1 AEROGENERATORI	36
6.2 CAVIDOTTI	36
REFERENZE	37

LISTA DELLE TABELLE

Tabella 3-1:	Informazioni relative ad ancore tipiche sulla base dello specifico range GRT della nave	16
Tabella 4-1:	Aerogeneratori appartenenti a ciascuno dei cluster identificati	19
Tabella 5-1:	Stazza delle navi e corrispondente classe GRT assegnata	22
Tabella 5-2:	Numero di rotte calcolate per ciascuna classe GRT	22
Tabella 5-3:	Numero di rotte calcolate per ciascuna tipologia di nave	23
Tabella 5-4:	Frequenza di interazione calcolata per gli aerogeneratori appartenenti a ciascuno dei cluster	25
Tabella 5-5:	Frequenza di interazione complessiva del traffico marittimo con ciascun aerogeneratore degli otto cluster	26
Tabella 5-6:	Contributo delle singole classi di navi alla frequenza di interazione complessiva per ciascun aerogeneratore appartenente ad ognuno degli otto cluster	27
Tabella 5-7:	Numero di rotte intersecanti i due cavidotti	28
Tabella 5-8:	Frequenza interazione con cavidotti per ciascun contributo legato al traffico marittimo, caratterizzato per KP di cavidotto (cavidotto 1)	29
Tabella 5-9:	Frequenza interazione con cavidotti per ciascun contributo legato al traffico marittimo, caratterizzato per KP di cavidotto (cavidotto 2)	31

LISTA DELLE FIGURE

Figura 2-1:	98 aerogeneratori del campo eolico di Brindisi Kailia Energia	5
Figura 2-2:	Ingombro degli aerogeneratori e dei cavidotti	6
Figura 2-3:	Zona VTS di Brindisi e specifiche aree al suo interno	7
Figura 2-4:	Ingombro del parco eolico in relazione alla zona VTS di Brindisi	8
Figura 3-1:	Passi della routine automatica per l'elaborazione dei dati AIS	10
Figura 3-2:	Distribuzione normale della posizione delle rotte all'interno del corridoio di traffico	12
Figura 3-3:	Probabilità di entrare in rotta di collisione (area in rosso sottesa alla distribuzione di probabilità)	13
Figura 4-1:	Zona nel corridoio tra Kailia 1 e Kailia 2 in cui non è stato previsto passaggio di navi	19
Figura 5-1:	Identificazione dell'area di interesse	21
Figura 5-2:	Schematizzazione dei cluster e dei corridoi	25
Figura 5-3:	Contributo delle singole classi di navi alla frequenza di interazione complessiva per ciascun aerogeneratore appartenente ad ognuno degli otto cluster	27
Figura 5-4:	Frequenza interazione con cavidotti per ciascun contributo legato al traffico marittimo, caratterizzato per KP di cavidotto (cavidotto 1)	30
Figura 5-5:	Frequenza interazione con cavidotti per imbarcazioni adibite alla pesca a strascico, caratterizzato per KP di cavidotto (cavidotto 1)	31
Figura 5-6:	Frequenza interazione con cavidotti per ciascun contributo legato al traffico marittimo, caratterizzato per KP di cavidotto (cavidotto 2)	32
Figura 5-7:	Frequenza interazione con cavidotti per imbarcazioni adibite alla pesca a strascico, caratterizzato per KP di cavidotto (cavidotto 2)	33
Figura 5-8:	Frequenza di rottura del cavidotto 1 legato al traffico marittimo, caratterizzato per KP di cavidotto	34
Figura 5-9:	Frequenza di rottura del cavidotto 2 legato al traffico marittimo, caratterizzato per KP di cavidotto	35

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

AIS	Automatic Identification System
CSV	Comma Separated Value
GIS	Geographic Information System
GRT	Gross Register Tonnage
KP	Chilometro Progressivo
ODG	Ordine di Grandezza
TEU	Twenty-foot Equivalent Unit
VTS	Vessel Traffic Service

1 PREMESSA BRINDISI KAILIA ENERGIA

La presente relazione è stata commissionata da Kailia Energia S.r.l. (la Committente), operatore internazionale nel campo delle energie rinnovabili, attivo nello sviluppo, nella progettazione, realizzazione e gestione di impianti di produzione di energia pulita.

La Committente è intenzionata a realizzare un parco eolico offshore composto da 98 aerogeneratori, per una taglia totale di 1176 MW, di fronte alla costa nord-orientale della Regione Puglia, in particolare nello specchio di mare antistante la città di Brindisi.

Questo sito è stato individuato basandosi su uno studio di prefattibilità eseguito da SENER Ingenieria y Sistemas S.A. sotto incarico della Committente.

Nel dettaglio la scelta di tale sito è stata effettuata tenendo conto della risorsa eolica potenzialmente disponibile, della distanza dalla costa, dei possibili nodi di connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) gestita da Terna S.p.A. e, non da ultimo, minimizzando/evitando il più possibile le aree di maggior interferenza a livello ambientale.

1.1 SCOPO DEL DOCUMENTO

Lo scopo del presente documento è quello di analizzare le possibili interazioni di imbarcazioni di passaggio, navi mercantili e navi da pesca, valutando la frequenza di impatto prevista e, quindi, la possibilità di danno delle strutture interessate. Sono infine fornite delle possibili misure mitigative che, se adottate, portano ad una contestuale riduzione della frequenza di interazione.

In particolare, l'analisi ha interessato

- ✓ i cavidotti sottomarini che collegano il parco eolico offshore a terra
- ✓ gli aerogeneratori galleggianti

Nello svolgimento dello studio sono state considerate le seguenti cause di potenziale danno alle strutture:

- ✓ Impatto dovuto ad affondamento di navi;
- ✓ Impatto causato da oggetti trasportati da navi mercantili (container);
- ✓ Interazione con ancore in caso di ancoraggio di emergenza e/o condizioni atmosferiche avverse (considerando urto diretto e trascinamento);
- ✓ Interazione con attrezzature da pesca.

2 INFORMAZIONI RELATIVE AL CAMPO EOLICO BRINDISI KAILIA ENERGIA

I 98 aerogeneratori previsti per il campo eolico di Brindisi Kailia Energia saranno posizionati nello specchio di mare antistante la città di Brindisi, come mostrato in Figura 2-1. In particolare, il campo sarà costituito da 2 sottozone, una più a Ovest (Kailia 1) e una più a Est (Kailia 2). Le due sottozone si estendono per circa 20 km in direzione Nordovest – Sudest e circa 5 km in direzione Nordest – Sudovest. In totale, le due sottozone occupano un'area di mare di circa 200 km². Tra gli aerogeneratori è prevista una distanza di circa 1.5 km. Ciascun aerogeneratore sarà costituito da una base galleggiante a tripode a sostegno della pala. Dettagli sono riportati nel documento specifico [7].



Figura 2-1: 98 aerogeneratori del campo eolico di Brindisi Kailia Energia

Sulla base della loro disposizione, in Figura 2-2 è mostrato l'ingombro degli aerogeneratori (in rosso) e il tracciato che seguiranno i caviodotti di collegamento alla stazione di ricezione a terra (in verde).

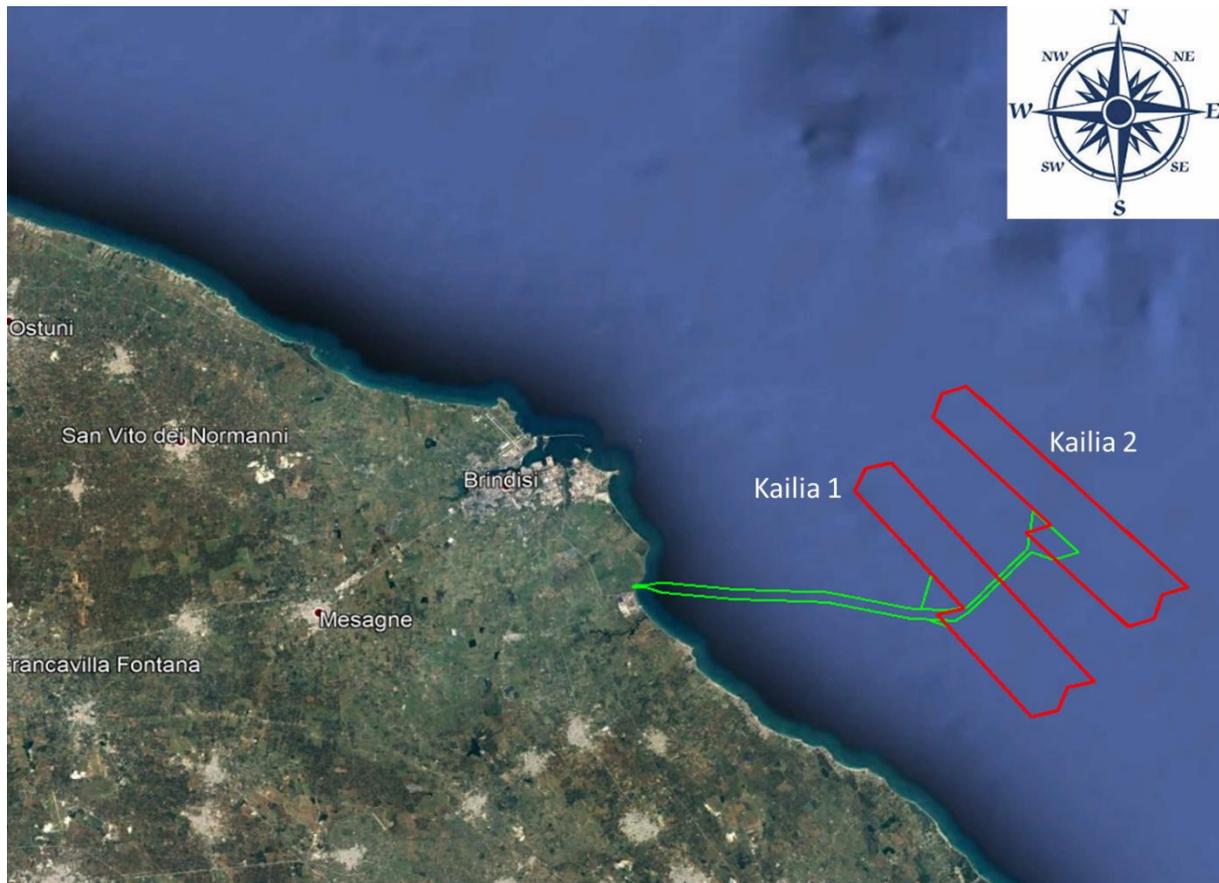


Figura 2-2: Ingombro degli aerogeneratori e dei cavidotti

Data la vicinanza con il porto di Brindisi, è importante notare la presenza della zona VTS (Vessel Traffic Service) [6]. Figura 2-3 mostra il perimetro della zona VTS del porto di Brindisi, all'interno della quale sono definite

- ✓ due aree di mare in cui la navigazione è interdetta (area da evitare n.1 e n.2),
- ✓ un'area dedicata all'ammarraggio degli aeromobili per il servizio antincendio,
- ✓ un'area dedicata all'ancoraggio (rada di Sudest)
- ✓ tre corridoi dedicati al transito da e per il porto di Brindisi (uno per l'ingresso (freccia verde) e due per l'uscita (freccie rosse))

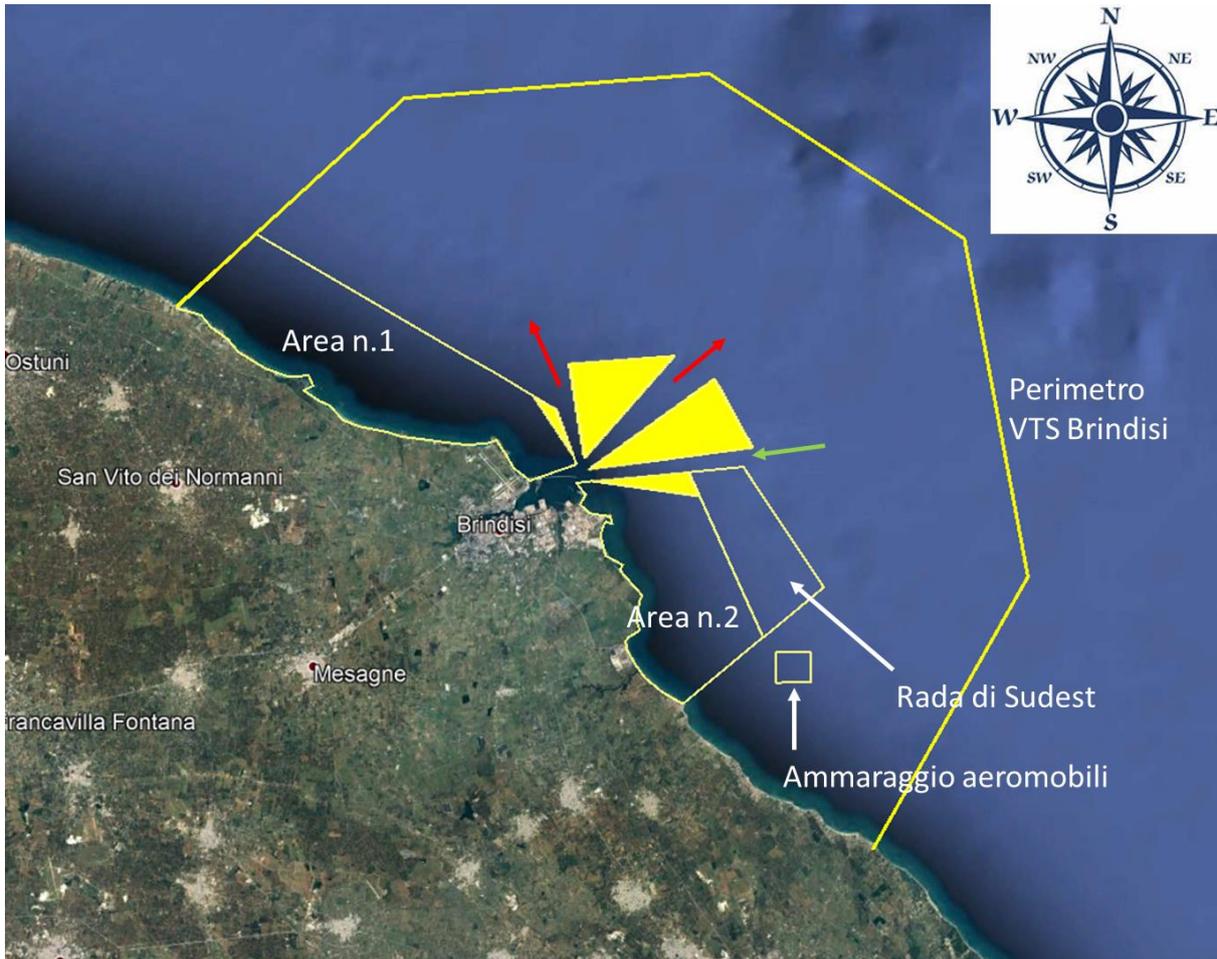


Figura 2-3: Zona VTS di Brindisi e specifiche aree al suo interno

Infine, Figura 2-4 mostra la posizione delle due sottozone del campo eolico rispetto alla zona VTS. Come si vede, l'estremità settentrionale delle due sottozone interseca la zona VTS, tuttavia non interferendo con nessuna delle zone definite in precedenza. Il percorso previsto per i cavidotti di collegamento a terra evita sia la zona di ancoraggio (Rada di Sudest), sia la zona di ammaraggio degli aeromobili per il servizio antincendio. È prevista l'intersezione con l'Area n.2 in cui la navigazione è interdetta in quanto la presenza dei cavidotti non costituirà alcuna interferenza.

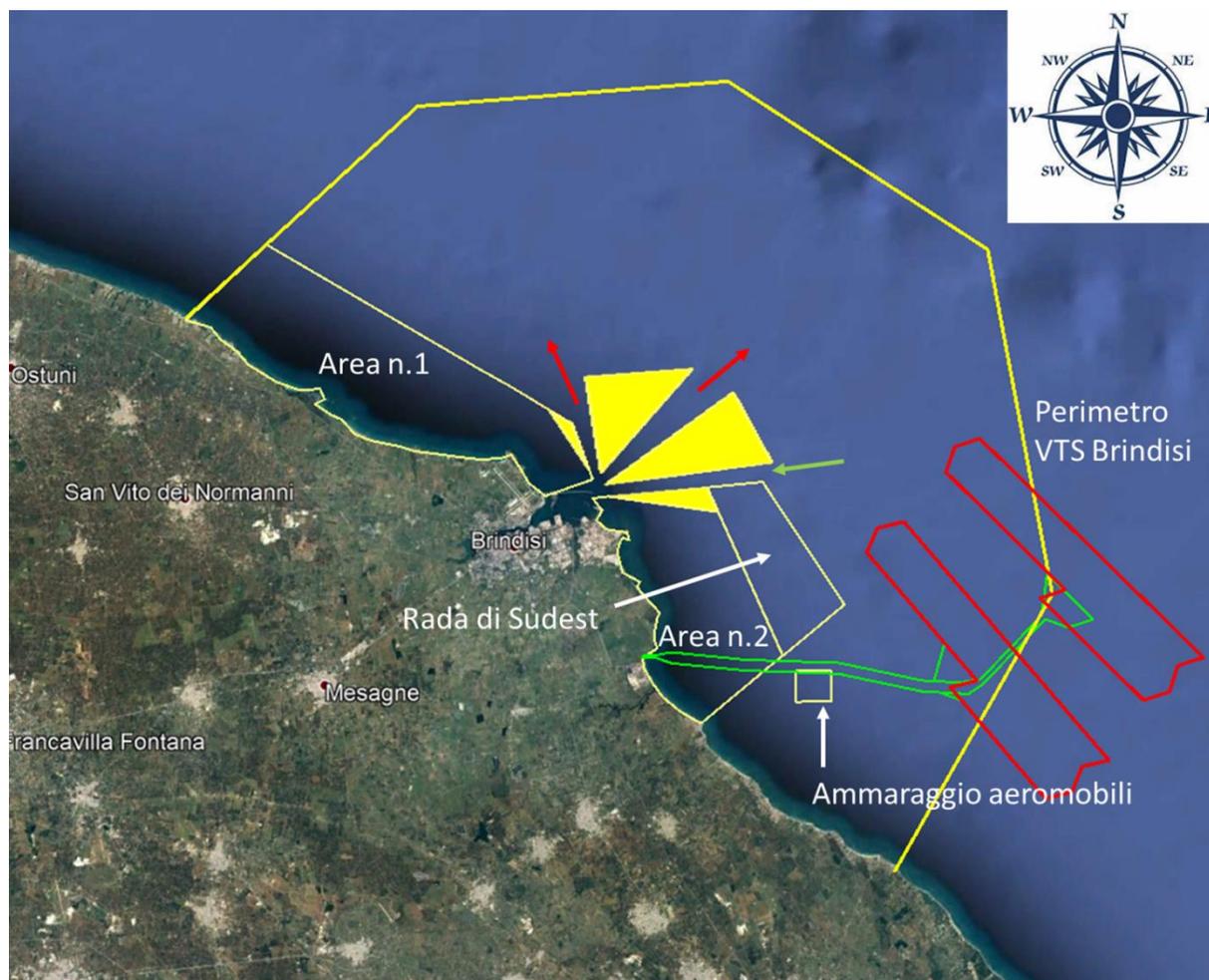


Figura 2-4: Ingombro del parco eolico in relazione alla zona VTS di Brindisi

3 METODOLOGIA

3.1 IDENTIFICAZIONE DEGLI SCENARI DI INTERAZIONE

Nella presente analisi sono stati analizzati tipici scenari incidentali dovuti all'interazione che il traffico marittimo può avere con le strutture sottomarine (ovvero i cavidotti) e a quelle sulla superficie del mare (ovvero gli aerogeneratori).

In particolare, gli eventi incidentali che possono comportare un danno per le strutture sulla superficie del mare possono essere urti di vario tipo con le navi transitanti nella zona del parco eolico.

Mentre, per le strutture sottomarine tali eventi possono essere:

- ✓ Impatto dovuto ad affondamento di navi;
- ✓ Impatto causato da oggetti trasportati da navi mercantili (container);
- ✓ Interazione con ancore in caso di ancoraggio di emergenza e/o condizioni atmosferiche avverse (considerando urto diretto e trascinamento);
- ✓ Interazione con attrezzature da pesca.

3.2 CALCOLO DELLE FREQUENZE DI INTERAZIONE

3.2.1 Analisi del traffico marittimo

L' AIS (Automatic Identification System) è un sistema automatico di tracciamento utilizzato dalle navi e dai servizi VTS (Vessel Tracking Services) per l'identificazione e la rilevazione della posizione delle navi basato sul continuo scambio di informazioni tra navi vicine e tra navi e basi AIS (sia terrestri che satellitari). Le informazioni scambiate dai sistemi AIS comprendono l'identificazione univoca della nave, la sua posizione, rotta, velocità, direzione e tipo di imbarcazione.

Per l'analisi in oggetto sono stati acquisiti i dati AIS relativi all'intero anno 2019, acquistati da un rivenditore specializzato [8]. Si noti che, questo arco temporale costituisce il dataset annuale più recente prima della pandemia da COVID-19, che, come osservato in analisi simili, è stata causa di forti modifiche nel traffico marittimo, rendendo quindi i dati poco rappresentativi di una situazione normale.

I dati sono forniti in tabelle in formato CSV (Comma Separated Value); ciascuna riga del database AIS fornisce i dati di una nave al momento della registrazione e trasmissione ad altri sistemi AIS.

Il database AIS fornisce una descrizione puntuale delle posizioni successive occupate da ciascuna nave all'interno dell'area di interesse e per il periodo di tempo selezionato; lo scopo dell'elaborazione dei dati è l'identificazione delle rotte delle navi registrate dal sistema AIS sulla base delle posizioni successive fornite dal database.

Il campione di dati per l'area di interesse per l'anno solare 2019 contiene circa 1.800.000 registrazioni, rendendo quindi necessario l'utilizzo di routine automatica per l'elaborazione della mole di informazioni disponibili. Tale routine svolge, in maniera automatica e continua, i seguenti passaggi (riportati nel diagramma di flusso in Figura 3-1):

1. lettura e interpretazione del database in formato CSV (Comma Separated Value); i dati vengono letti e filtrati per rimuovere navi all'ancora o in secca. Questo filtro permette di ridurre il numero di registrazioni da analizzare, alleggerendo i tempi di calcolo, senza impattare sulla risoluzione ottenuta nella definizione delle rotte di traffico marittimo;
2. riordino del database in ordine cronologico crescente (dalla registrazione più vecchia alla registrazione più nuova);
3. riordino del database per identificazione univoca della nave;
4. selezione delle prime due registrazioni nel database: se le due registrazioni descrivono posizioni successive della stessa nave e la distanza temporale tra le due registrazioni è sufficientemente piccola, viene calcolata e memorizzata la rotta come segmento di retta che congiunge le due posizioni successive. La distanza temporale massima è definita pari a 3 ore; oltre a tale intervallo, le registrazioni vengono interpretate come appartenenti a due rotte separate della stessa nave;
5. il segmento di rotta viene memorizzato per elaborazioni successive e per la rappresentazione grafica delle rotte marittime;

6. la routine seleziona la registrazione successiva e procede con l'applicazione degli step 4, 5 e 6 fino alla fine del database.

La **Error! Reference source not found.** riporta il diagramma di flusso completo che descrive la procedura di elaborazione dei dati AIS.

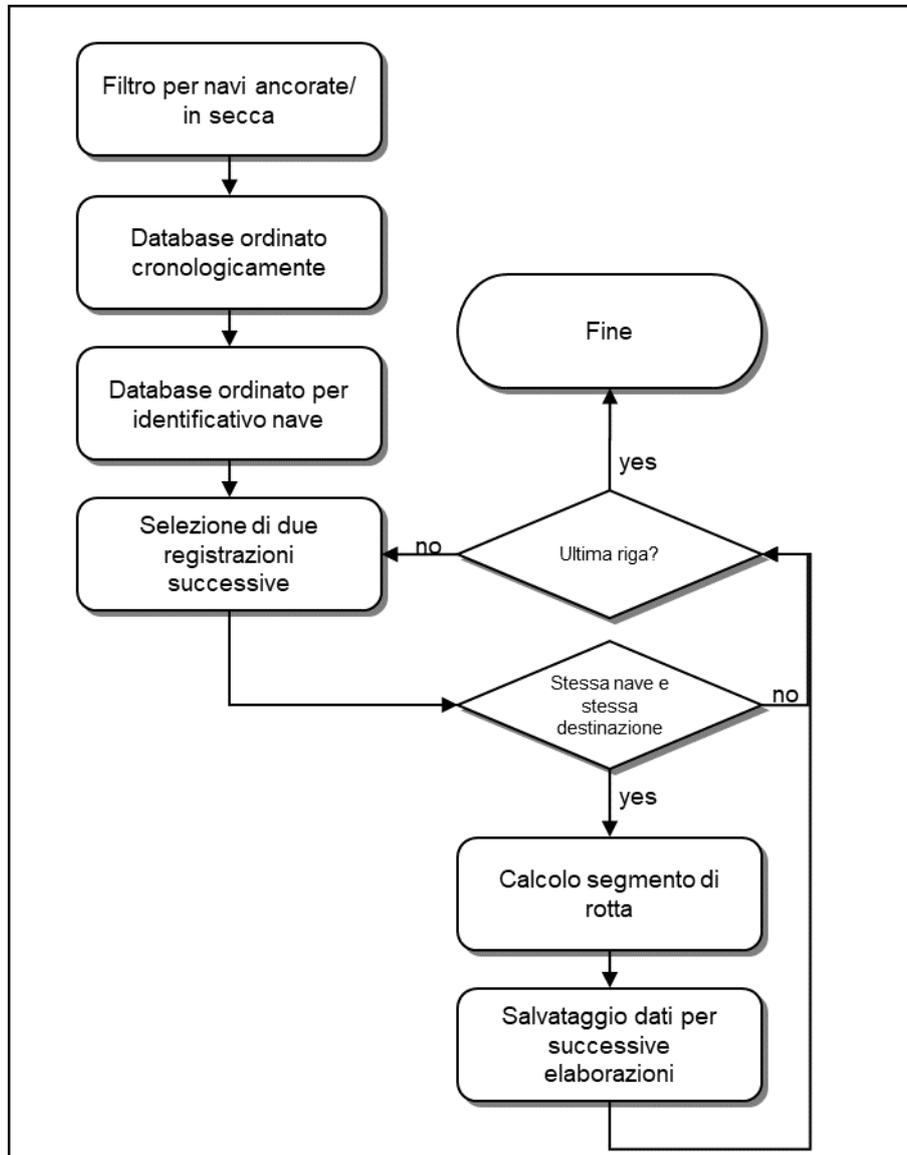


Figura 3-1: Passi della routine automatica per l'elaborazione dei dati AIS

3.2.2 Interazione con gli aerogeneratori

La frequenza di impatto per l'aerogeneratore j -esimo si calcola come [1]:

$$f_{\text{impatto},j} = \sum_i N_i \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$$

Dove:

- ✓ j : indice identificativo dell'aerogeneratore potenzialmente soggetto ad impatto;
- ✓ i : indice identificativo di una specifica classe di navi;
- ✓ N_i : frequenza annuale di passaggi nave della i -esima classe nelle vicinanze dell'aerogeneratore j -esimo considerato (espressa in numero passaggi/anno);
- ✓ P_1 : probabilità di perdita di controllo della nave; valore indipendente dalla classe della nave che si considera aver perso il controllo;
- ✓ P_2 : probabilità geometrica di impatto con l'aerogeneratore considerato;
- ✓ P_3 : probabilità di fallimento di eventuali barriere mitigative.

La frequenza calcolata, $f_{\text{impatto},j}$, si riferisce ad un determinato aerogeneratore; pertanto, l'analisi dovrà essere applicata a ciascun aerogeneratore individuato e ciascuna nave potenzialmente impattante.

Come riportato in [1], danni agli aerogeneratori dovuti ad impatti con navi possono essere dovuti a diverse cause. Di quelle descritte in [1], nella presente analisi si considera la collisione con imbarcazioni che transitano nelle vicinanze degli stessi (siano essi mercantili, supply vessel o navi per il trasporto di persone).

Solitamente, il traffico marittimo di mercantili o navi passeggeri si colloca lungo specifici corridoi. Lo standard DNVGL-RP-F107 [1] suggerisce che rotte di navi che navigano più distanti di 10 nm non comportano potenziale rischio di collisione.

Di seguito è riportata la stima dei vari termini per il computo della frequenza di impatto per un aerogeneratore.

3.2.2.1 Frequenza annuale di passaggi nave (N)

Al fine di poter calcolare una frequenza di evento incidentale associata al transito delle navi nell'area, è necessario conoscere il numero di rotte passanti in un anno.

Questo numero è possibile ricavarlo utilizzando la routine descritta al paragrafo 3.2.1.

Una volta che le registrazioni sono state elaborate e le rotte calcolate, queste ultime possono essere rappresentate graficamente grazie all'ausilio di un software GIS (Geographic Information System) (il risultato dell'elaborazione grafica è presentata nei capitoli successivi). Con lo stesso software è possibile quindi tracciare un segmento che funge da linea di controllo; fornendo come input le rotte calcolate e la linea di controllo tracciata, la routine è in grado di calcolare il numero di rotte che la intersecano.

Definendo in maniera opportuna la linea di controllo (in termini di posizione ed estensione), è possibile quindi contare il numero di passaggi elaborati per quel tratto di mare. Dato l'arco temporale coperto dalle registrazioni dei dati AIS, si ottiene la frequenza annuale di passaggi nave.

3.2.2.2 Probabilità di perdita di controllo della nave (P_1)

La perdita di controllo può avere diverse cause, ciascuna delle quali caratterizzata da una probabilità di accadimento. Pertanto, la probabilità di avere perdita di controllo può essere calcolata dalla combinazione di questi fattori che dipendono dallo scenario in analisi.

In generale, in letteratura è stato osservato che tale combinazione porta ad una probabilità P_2 stimata in $2 \cdot 10^{-4}$ [1].

3.2.2.3 Probabilità geometrica di impatto con l'aerogeneratore considerato (P_2)

Nel caso in cui l'impatto è associato alla perdita di controllo di una nave in transito è necessario fare delle considerazioni per stabilire se lo scenario di collisione con il target è credibile.

P_2 viene definita "probabilità geometrica di collisione". Come osservato in precedenza, il traffico marittimo di mercantili o navi passeggeri generalmente si colloca lungo specifici corridoi. Pertanto, si può assumere che la posizione delle navi all'interno di questi "corridoi" è descrivibile attraverso una distribuzione normale (centrata nel corridoio), come illustrato nella seguente figura [1].

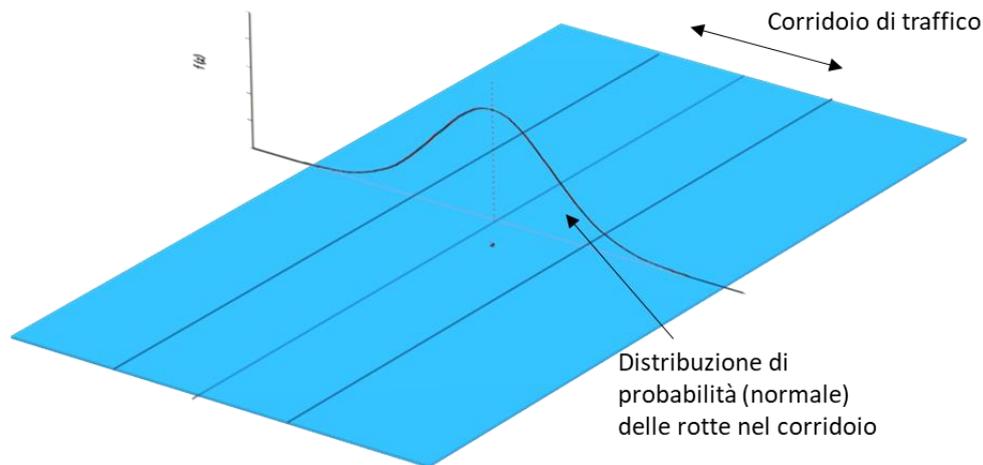


Figura 3-2: Distribuzione normale della posizione delle rotte all'interno del corridoio di traffico

Sulla base di questa assunzione, la probabilità che una nave possa trovarsi in rotta di collisione con il target considerato si può calcolare secondo la seguente formula [1]:

$$P_2 = D \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\delta}\right)^2}$$

Dove:

- ✓ D è il diametro di collisione (definito come somma di estensione del target in direzione perpendicolare alla rotta e larghezza della nave)
- ✓ δ è la deviazione standard
- ✓ x è la distanza tra il centro del corridoio e il target

Figura 3-3 mostra graficamente come viene calcolata la probabilità geometrica di impatto. Rispetto alla probabilità P_1 ci sono almeno sei differenti ragioni per cui una nave continui lungo la sua rotta, in direzione del target:

- ✓ assenza di equipaggio sul ponte
- ✓ equipaggio impegnato in altre attività
- ✓ equipaggio non in attività (in riposo)
- ✓ incidente a bordo
- ✓ abuso di alcool o droghe
- ✓ guasto al radar di bordo o scarsa visibilità

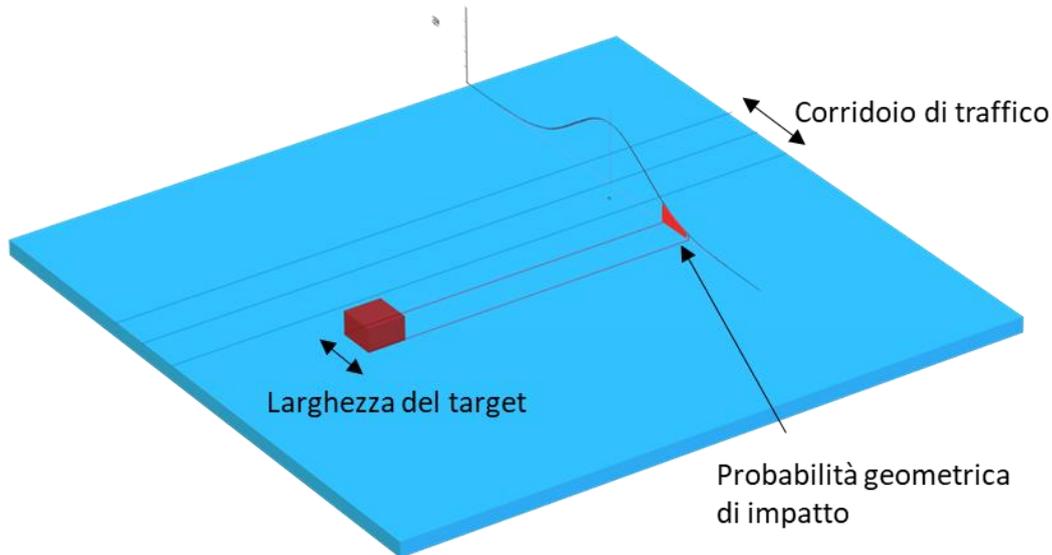


Figura 3-3: Probabilità di entrare in rotta di collisione (area in rosso sottesa alla distribuzione di probabilità)

3.2.2.4 Probabilità di fallimento di eventuali barriere mitigative (P_3)

A seconda del caso specifico possono essere presenti delle barriere che contribuiscono ad evitare l'impatto tra nave e target. Pertanto, in linea di principio, il termine P_3 sarà dato dalla combinazione delle probabilità di fallimento di tutte le barriere individuate.

Esempi di barriere presenti potrebbero essere:

- ✓ Presenza di standby vessel in corrispondenza del parco eolico
- ✓ Sirena antinebbia installata, ad esempio, in corrispondenza degli aerogeneratori perimetrali
- ✓ RACON (ovvero il faro radar)

P_3 è solitamente considerata pari ad uno se non sono presenti barriere. Viceversa, P_3 decresce in funzione delle barriere presenti: 0.9 se presente il RACON, 0.14 se presente una standby vessel, 0.13 se presenti sia RACON che standby vessel [1].

3.2.3 Interazione con i cavidotti

3.2.3.1 Dati di input

È opportuno ricordare che gli eventi che possono comportare un danno ai cavidotti possono essere:

- ✓ Impatto dovuto ad affondamento di navi;
- ✓ Impatto causato da oggetti trasportati da navi mercantili (container);
- ✓ Interazione con ancore in caso di ancoraggio di emergenza e/o condizioni atmosferiche avverse (considerando urto diretto e trascinamento);
- ✓ Interazione con attrezzature da pesca.

Al fine di definire una frequenza di interazione dai dati disponibili, legata sia al passaggio navi che ai container, si è fatto riferimento al report COST 301, dove sono forniti i ratei medi di collisione, impatto e affondamento [2].

In particolare, la frequenza di affondamento, espressa in ev/nave/km, è stata calcolata come la media complessiva dei ratei di affondamento, risultando essere pari a $5.67 \cdot 10^{-8}$ ev/nave/km.

Tale valore è stato calcolato come segue: il rateo di affondamento medio fornito dal COST 301 ($0.105 \cdot 10^{-6}$ ev/nave/nm) è stato considerato e diviso per 1.852 km, così da ottenere il valore in ev/nave/km.

Per quanto riguarda la frequenza di container che possono cadere dalle navi sui quali sono trasportati, il conto è stato il seguente: la percentuale di container persi all'anno (0.005 %: dato fornito da Transport Club, compagnia assicurativa [3]) è stata divisa per il numero medio di giorni di navigazione di una nave porta container (298 giorni [3]). La frequenza di perdita / caduta di container ottenuta è risultata essere pari a $7 \cdot 10^{-9}$ ev/cont/h.

Per quanto riguarda la frequenza di ancoraggio di emergenza, lo standard DNVGL-RP-F107 [1] associa la necessità di ancoraggio di emergenza ad eventi di ogni tipo che riguardano un guasto al sistema propulsivo. Tale valore è pari a $1.4 \cdot 10^{-5}$ ev/nave/h. Tuttavia, perché tale valore sia effettivamente rappresentativo di una situazione quale l'ancoraggio di emergenza, questo deve essere corretto. In prossimità del cavidotto saranno definite delle aree in cui l'ancoraggio non è consentito. Pertanto, in caso di necessità di ancoraggio di emergenza, l'operazione dovrà essere effettuata al di fuori di tali aree. Quindi, per la stima della frequenza di ancoraggio all'interno di tali zone il fattore relativo all'errore umano deve essere considerato. Tale valore è calcolato come di seguito [4].

Se si considera come errore umano il fallimento dell'operazione da parte dell'operatore (ovvero la non attesa del superamento dell'area di non ancoraggio), la probabilità di fallimento viene calcolata come di seguito:

$$HE = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$$

Dove:

- ✓ K_1 : fattore legato alla tipologia di attività
- ✓ K_2 : fattore temporaneo di stress
- ✓ K_3 : fattore tipologico legato all'operatore
- ✓ K_4 : fattore legato all'ansia per l'operazione in oggetto
- ✓ K_5 : fattore legato all'ergonomia dell'operazione

Considerando lo scenario analizzato, ai vari fattori sono stati assegnati i seguenti valori:

- ✓ K_1 : 0.1, attività non di routine
- ✓ K_2 : 0.1, considerando l'intervallo temporale a disposizione per effettuare l'operazione di ancoraggio
- ✓ K_3 : 0.5, considerando la preparazione dell'operatore
- ✓ K_4 : 2, situazione che è di potenziale emergenza
- ✓ K_5 : 3, discrete condizioni microclimatiche e di interfaccia con il resto dell'equipaggio / nave

L'equazione sopradescritta con i valori assegnati ai vari fattori conduce ad un valore di probabilità di errore umano pari a $3 \cdot 10^{-2}$. Quindi, la frequenza che un ancoraggio di emergenza possa avvenire all'interno dell'area interdotta a tale operazione risulta essere pari a $4.20 \cdot 10^{-7}$ ev/nave/h.

3.2.3.2 Frequenza di affondamento

La frequenza di impatto tra una eventuale nave in affondamento e il cavidotto sottomarino si ottiene applicando la relazione seguente [1]:

$$F_{\text{affondamento}} = \sum_{k=1}^{N_{\text{navi}}} \mu_{\text{affondamento}} \cdot L_{\text{nave},k}$$

Dove μ è la frequenza di affondamento di una nave (il cui valore è stato definito al paragrafo 3.2.3.1 **Error! Reference source not found.**) e $L_{nave,k}$ è la lunghezza di interazione (pari alla lunghezza della nave k considerata). Tale conto viene effettuato per ciascuna nave la cui rotta interseca il cavidotto. La frequenza totale di interazione tra cavidotto e navi in affondamento è quindi pari alla somma dei contributi delle singole navi la cui rotta interseca il cavidotto.

3.2.3.3 Frequenza di impatto con container caduti

Come oggetti che possono cadere da una nave si considerano generalmente container e / o parti del carico alloggiato sul ponte (deck cargo). La tipologia deck cargo si riferisce, generalmente, a bidoni e a piccoli oggetti in genere, per i quali è ragionevole non prevedere alcuna conseguenza significativa per il cavidotto sottomarino in caso di impatto. L'oggetto di riferimento è pertanto il container, perso da una nave porta container.

Visto la variabilità delle dimensioni, massa e modalità di trasporto, per la caduta dei container si fa riferimento ad uno scenario rappresentativo in modo da permettere l'elaborazione matematica delle informazioni disponibili. Il container a cui si fa riferimento per la valutazione della frequenza di caduta è il Twenty-foot Equivalent Unit (TEU).

La frequenza di impatto tra un container che cade e il cavidotto sul fondale marino si calcola con l'equazione seguente:

$$F_{container} = \sum_{k=1}^{N_{cargho}} n_{TEU,k} \cdot \mu_{oggetto} \cdot \frac{L_{TEU}}{v_k}$$

Dove $n_{TEU,k}$ è il numero di container trasportati dalla nave k la cui rotta interseca il percorso del cavidotto, $\mu_{oggetto}$ è la frequenza di caduta del container che si slega dall'ancoraggio a cui è fissato, L_{TEU} è la lunghezza di interazione tra container che cade e cavidotto, v_k la velocità della nave k. Il rapporto $\frac{L_{TEU}}{v_k}$ rappresenta la probabilità che il container in caduta impatti il cavidotto (interazione geometrica container-cavidotto). $n_{TEU,k}$ è stato definito sulla base della lunghezza della nave trasportante. La relazione tra il numero di container trasportabili e la lunghezza della nave è stata ricavata analizzando i dati della flotta Maersk [5]. L_{TEU} è stata definita considerando la lunghezza del container.

3.2.3.4 Frequenza di interazione con ancore

Come sottolineato al paragrafo 3.2.3.1 **Error! Reference source not found.**, l'interazione tra ancora e cavidotto è strettamente legato a situazioni di emergenza a bordo nave.

L'interazione con ancore in caduta può essere di due tipi: impatto diretto (l'ancora in caduta libera urta direttamente il cavidotto) o per agganciamento (nella fase di trascinamento, l'ancora una volta sul fondale urta e aggancia il cavidotto).

La frequenza di interazione tra un'ancora e il cavidotto sul fondale marino si calcola con l'equazione seguente:

$$F_{ancora} = \sum_{k=1}^{N_{navi}} \mu_{ancora} \cdot \frac{L_{trascinamento}}{v_k}$$

Dove μ_{ancora} è la frequenza di ancoraggio di emergenza, $L_{trascinamento}$ è la lunghezza di trascinamento dell'ancora sul fondale marino, v_k la velocità della nave. Il rapporto $\frac{L_{trascinamento}}{v_k}$ definisce la probabilità di interazione geometrica tra ancora e cavidotto. La lunghezza di trascinamento dell'ancora è legata al range GRT della nave come riportato nella Tabella seguente.

Tabella 3-1: Informazioni relative ad ancore tipiche sulla base dello specifico range GRT della nave

Range GRT (tonn)	Massa dell'ancora (kg)	Lunghezza dell'ancora (m)	Lunghezza di trascinamento dell'ancora (m)
100÷500	900	1.1	25
500÷1600	1440	1.2	50
1600÷10000	3060	1.7	100
10000÷60000	8700	2.4	500
60000÷100000	17800	3.1	1000
>100000	26000	3.4	1000

3.2.3.5 Frequenza di interazione con navi da pesca

Anzitutto, va osservato che tra le navi da pesca che potenzialmente possono arrecare danni ai cavidotti, le imbarcazioni adibite alla pesca a strascico sono quelle che vanno considerate.

La frequenza di interazione tra reti a strascico e cavidotto è stata valutata sulla base dei risultati dell'analisi del traffico marittimo nelle zone di interesse. Conservativamente ogni evento di crossing con il cavidotto da parte di navi da pesca equipaggiate con reti a strascico (trawler) è stata considerata come un evento di interazione.

4 ASSUNZIONI E IPOTESI ALLA BASE DEI RISULTATI

I risultati ottenuti (presentati in Sezione 5) considerando la metodologia descritta in Sezione 3 si basano sulle seguenti ipotesi e assunzioni.

4.1 AEROGENERATORI

- 1) Nel calcolo della frequenza di interazione tra navi e aerogeneratori non è stato tenuto in conto del contributo dato da quelle navi il cui dato AIS è risultato corrotto, ovvero quelle navi per cui la classe GRT, la lunghezza e altre caratteristiche dimensionali non sono risultate disponibili. Lo scopo della loro esclusione è quello di avere risultati in termini di frequenza di interazione che siano poi utilizzabili per eventuali future valutazioni circa la frequenza di danno dell'aerogeneratore;
- 2) Per poter calcolare la frequenza annuale di passaggi nave (N_i), si è reso necessario aggiornare il traffico registrato nell'arco dell'anno 2019 alla situazione ipotetica di presenza del parco eolico; nella pratica, l'aggiornamento è constatato nel contare il numero di rotte passanti per le due sottozone, Kailia 1 e Kailia 2, e redistribuire questi passaggi nave nei tratti dove sarà effettivamente possibile la navigazione. Il conteggio dei passaggi nave è stato effettuato secondo quanto descritto in paragrafo 3.2.2.1; la redistribuzione del traffico marittimo è avvenuto in maniera uniforme sui tratti di mare immediatamente a fianco delle due sottozone del parco. Non avendo modo di prevedere in maniera dettagliata come questa redistribuzione avverrà realmente, si è optato per una redistribuzione uniforme in base alla classe GRT delle navi intersecanti le due sottozone;
- 3) Per quanto riguarda la redistribuzione del traffico intersecante la zona prevista per il parco eolico, le rotte intersecanti la sottozona Kailia 1 sono state ipotizzate collocarsi nel corridoio tra le due sottozone; questa scelta è stata motivata dal fatto che, cautelativamente, si è considerata la situazione più gravosa dal punto di vista del rischio (anche considerando il rischio per il cavidotto di collegamento tra le due sottozone) e che dall'elaborazione grafica dei risultati (presentata al paragrafo 5.1) si è osservato che solamente le navi di piccola stazza (classe GRT = 1) effettivamente navigano nel tratto di mare compreso tra Kailia 1 e la costa; per quanto riguarda le rotte intersecanti la sottozona Kailia 2, anche queste sono state ipotizzate collocarsi nel corridoio tra le due sottozone; analogamente a quanto visto per Kailia 1, questa scelta è motivata dal fatto che, cautelativamente, si è considerata la situazione più gravosa dal punto di vista del rischio (anche considerando il rischio per il cavidotto di collegamento tra le due sottozone) e, inoltre, si è considerato verosimile ipotizzare che le navi che percorrono questo tratto di mare lungo la direttrice Nord-Sud (e viceversa) prediligeranno il passaggio lungo il corridoio limitando così l'aumento del tragitto da percorrere; pertanto, in corrispondenza del futuro campo eolico è prevedibile che il traffico si disporrà secondo tre corridoi principali lungo la direttrice Nord-Sud: uno tra la costa e Kailia 1 (solo per navi di classe GRT = 1), uno tra le due sottozone Kailia 1 e Kailia 2 e uno ad Est di Kailia 2;
- 4) Per la valutazione della frequenza di interazione tra gli aerogeneratori e il traffico marittimo passante esternamente al parco eolico è stato considerato che le rotte calcolate nel tratto di mare a Ovest di Kailia 1 sono distribuite normalmente tra la costa e la sottozona Kailia 1, mentre le rotte calcolate nel tratto di mare a Est di Kailia 2 sono distribuite normalmente tra la sottozona Kailia 2 e la distanza limite entro cui una rotta costituisce una potenziale sorgente di rischio (10 nm, come indicato nello standard DNVGL-RP-F107 [1]); questa ipotesi si è resa necessaria per poter redistribuire il traffico marittimo in maniera ragionevole e quindi poter applicare la metodologia definita al paragrafo 3.2.2;
- 5) Essendo necessaria una rielaborazione dei corridoi del traffico marittimo, non è possibile valutare sulla base dei dati AIS la caratterizzazione della dispersione dei passaggi all'interno dei corridoi di traffico. Pertanto, è necessario stimare un parametro di dispersione sulla base di valutazioni ingegneristiche. A tal fine è stato considerato che il 99.7 % delle rotte calcolate passeranno effettivamente all'interno dei corridoi identificati al punto 3; la scelta di questo valore è motivata dal fatto che, in presenza del parco eolico il traffico marittimo sarà regolamentato riducendo così la possibilità che le navi si trovino fuori dai corridoi individuati e quindi in rotta di collisione con gli aerogeneratori;
- 6) In via precauzionale, è stato considerato che attorno alle due sottozone Kailia 1 e Kailia 2 sia presente una zona interdetta alla navigazione; l'estensione di questa zona è stata definita sulla base dell'estensione radiale delle catenarie che garantiscono l'ancoraggio degli aerogeneratori al fondo del mare rispetto alla verticale dell'aerogeneratore stesso (tale estensione varia in funzione della profondità del mare in corrispondenza della posizione dell'aerogeneratore); la massima estensione radiale delle catenarie dall'aerogeneratore è stata calcolata essere pari a 500 m; in via cautelativa, è stata assunta una zona di interdizione alla navigazione di 500 m di larghezza attorno a entrambe le sottozone Kailia 1 e Kailia 2;
- 7) Considerando che parte del traffico marittimo percorrerà il corridoio tra le due sottozone del parco, è stato ragionevolmente ipotizzato che le navi procederanno lungo una rotta quanto più rettilinea, evitando brusche

accostate in prossimità della parte Nordovest della sottozona Kailia 2 (evidenziata in giallo in Figura 4-1); ipotesi analoga è stata applicata alla parte Nordovest della sottozona Kailia 1 (evidenziata in rosa in Figura 4-1);

- 8) In base all'ipotesi descritta al punto 7 del presente elenco, vista la notevole distanza tra un aerogeneratore e quello immediatamente successivo (1.5 km ca) e visto che è ragionevole assumere che il traffico marittimo si disporrà parallelamente (direzione Nordovest-Sudest e viceversa) alle due sottozone quando in transito lungo i tre corridoi identificati, è stato possibile considerare ciascun aerogeneratore come un target esposto in maniera indipendente al rischio di impatto da parte del traffico marittimo; tuttavia, è stato possibile raggruppare gli aerogeneratori per cluster sulla base della loro distanza dal bordo dei corridoi di traffico; in particolare, Tabella 4-1 riporta la definizione dei cluster e quali aerogeneratori ne fanno parte; grazie a questa ipotesi è quindi possibile osservare che aerogeneratori appartenenti allo stesso cluster saranno esposti allo stesso rischio di impatto (quando si considera il singolo contributo dato da ciascuno dei tre potenziali corridoi di traffico identificati al punto 3 del presente elenco);
- 9) Per la valutazione della frequenza di interazione tra gli aerogeneratori e il traffico marittimo passante esternamente al parco eolico è stato considerato che le rotte calcolate nel tratto di mare a Ovest di Kailia 1 sono distribuite normalmente tra la costa e la sottozona Kailia 1 mentre le rotte calcolate nel tratto di mare a Est di Kailia 2 sono distribuite normalmente tra la sottozona Kailia 2 e la distanza limite entro cui una rotta costituisce una potenziale sorgente di rischio (10 nm, così come indicato nello standard DNVGL-RP-F107 [1]);
- 10) Viste le dimensioni che caratterizzano ciascun aerogeneratore (inteso come pala eolica e galleggiante a struttura di tripode), come ingombro è stata considerata la dimensione massima del tripode sul pelo dell'acqua, ovvero 150 m;
- 11) I termini che concorrono alla definizione della frequenza di interazione definiti al paragrafo 3.2.2 sono stati assunti come di seguito:
 - Probabilità di perdita di controllo della nave (P_1) = $2 \cdot 10^{-4}$ [1];
 - Probabilità di fallimento di eventuali barriere mitigative (P_3) = 1;

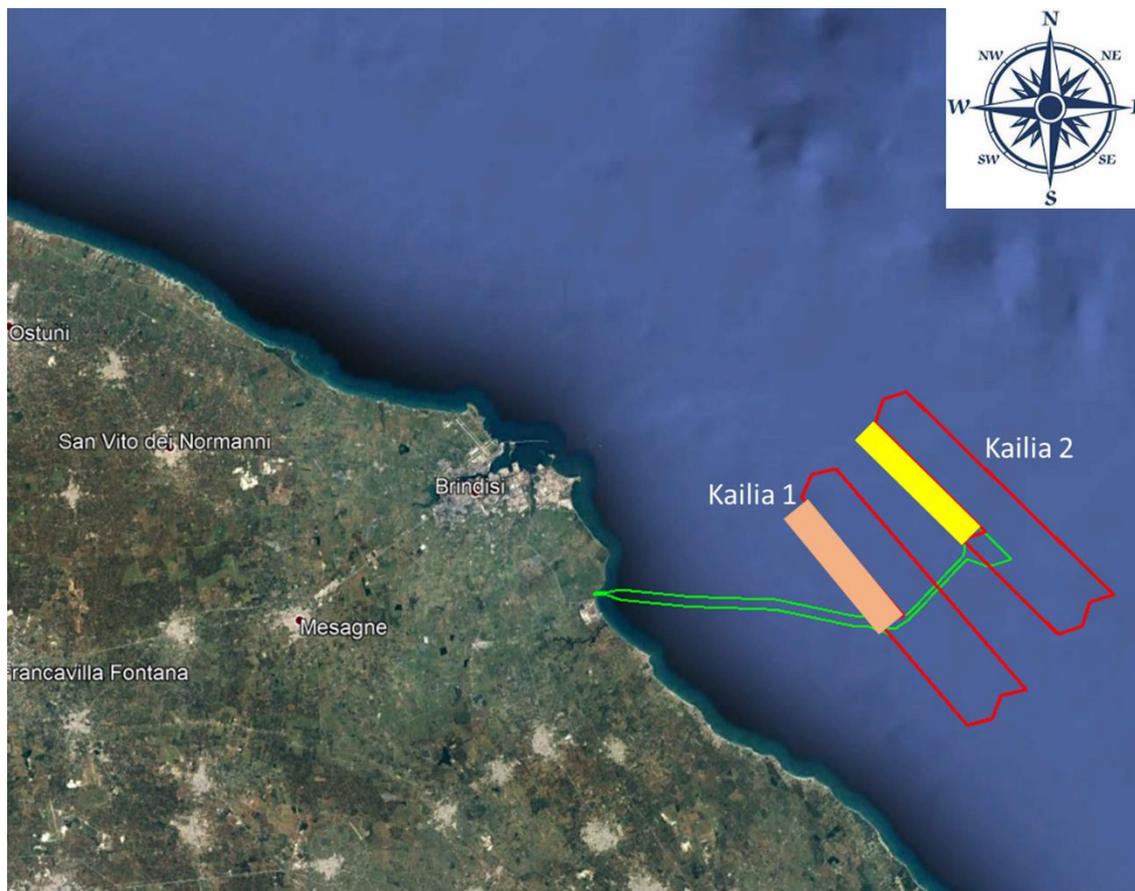


Figura 4-1: Zona nel corridoio tra Kailia 1 e Kailia 2 in cui non è stato previsto passaggio di navi

Tabella 4-1: Aerogeneratori appartenenti a ciascuno dei cluster identificati

Cluster	Aerogeneratore
A	A1.1 / A1.2 / A1.3 / A1.5 / A1.6 / A1.7 / A1.4
B	A2.1 / A2.2 / A2.3 / A2.5 / A2.6 / A2.7 / A2.7 / A2.4 / B1.4 / B1.7 / B1.6 / B1.5 / B1.3 / B1.2 / B1.1
C	A3.1 / A3.2 / A3.3 / A3.5 / A3.6 / A3.7 / A3.4 / B2.4 / B2.7 / B2.6 / B2.5 / B2.3 / B2.2 / B2.1
D	A4.1 / A4.2 / A4.3 / A4.5 / A4.6 / A4.7 / A4.4 / B3.4 / B3.7 / B3.6 / B3.5 / B3.3 / B3.2 / B3.1
E	C1.1 / C1.2 / C1.3 / C1.5 / C1.6 / C1.7 / C1.4
F	C2.1 / C2.2 / C2.3 / C2.5 / C2.6 / C2.7 / C2.4 / D1.4 / D1.7 / D1.6 / D1.5 / D1.3 / D1.2 / D1.1
G	C3.1 / C3.2 / C3.3 / C3.5 / C3.6 / C3.7 / C3.4 / D2.4 / D2.7 / D2.6 / D2.5 / D2.3 / D2.2 / D2.1
H	C4.1 / C4.2 / C4.3 / C4.5 / C4.6 / C4.7 / C4.4 / D3.4 / D3.7 / D3.6 / D3.5 / D3.3 / D3.2 / D3.1

4.2 CAVIDOTTI

- 1) Nella parte prossimale alla costa, per i cavidotti è previsto l'interramento (che si estende per circa 800 m dalla linea di costa); per questa porzione di cavidotti, la possibilità di interazione accidentale con il traffico marittimo è stata considerata trascurabile; la restante parte di cavidotti è stata invece considerata deposta sul fondale marino (risultando quindi completamente esposta ad eventuali interazioni accidentali);
- 2) Per quanto riguarda l'interazione con strumenti da pesca (reti a strascico), per ogni rotta intersecante i cavidotti, relativa ad imbarcazioni di questa tipologia, è stata assunta per certa l'interazione;
- 3) In Figura 2-2 è mostrato l'ingombro dell'insieme dei cavidotti che collegano le due sottozone del parco a terra; vista l'ampiezza dell'ingombro (ovvero la distanza tra i due cavidotti più esterni) essere notevolmente inferiore rispetto all'estensione di una delle qualsiasi rotte intersecanti, è stato ragionevolmente ipotizzato che tutti i cavi che vanno dal parco a terra sono esposti allo stesso rischio rispetto al traffico marittimo; pertanto, è sufficiente stimare la frequenza di interazione per un cavidotto ed estendere il risultato ad ognuno dei cavidotti presenti;
- 4) Vista l'ipotesi al punto 6 dell'elenco al paragrafo 4.1, il tratto di cavidotti che è stato considerato esposto al rischio di interazione con il traffico marittimo è da ridursi di 500 m quando questi approcciano le due sottozone Kailia 1 e Kailia 2;
- 5) Trattandosi di cavidotti deposti sul fondale marino, è ragionevole assumere che ogni tipo di interazione possa essere tale da portare alla rottura del cavo;
- 6) Sulla base dell'ipotesi al punto precedente, è quindi possibile stimare in maniera diretta la frequenza di fallimento di ciascun cavidotto per ogni Chilometro Progressivo (KP) di percorso; tale valore sarà pari alla somma delle frequenze di interazione calcolate per ciascuna modalità ad ogni KP di percorso;
- 7) Secondo la modalità descritta ai punti 2 e 3 dell'elenco al paragrafo 4.1, è stato ricavato il numero di passaggi nave, e la loro distribuzione lungo i corridoi di traffico, che intersecherebbero i cavidotti nella situazione futura di parco eolico installato;

5 RISULTATI

5.1 TRAFFICO MARITTIMO

L'analisi del traffico marittimo nell'area prevista per il parco eolico Brindisi Kailia Energia è stata effettuata sulla base dell'elaborazione dei dati di traffico navale rilevato dai tracciati AIS e condotta su un'area di circa 3300 km² centrata sulla posizione della sottozona Kailia 2.

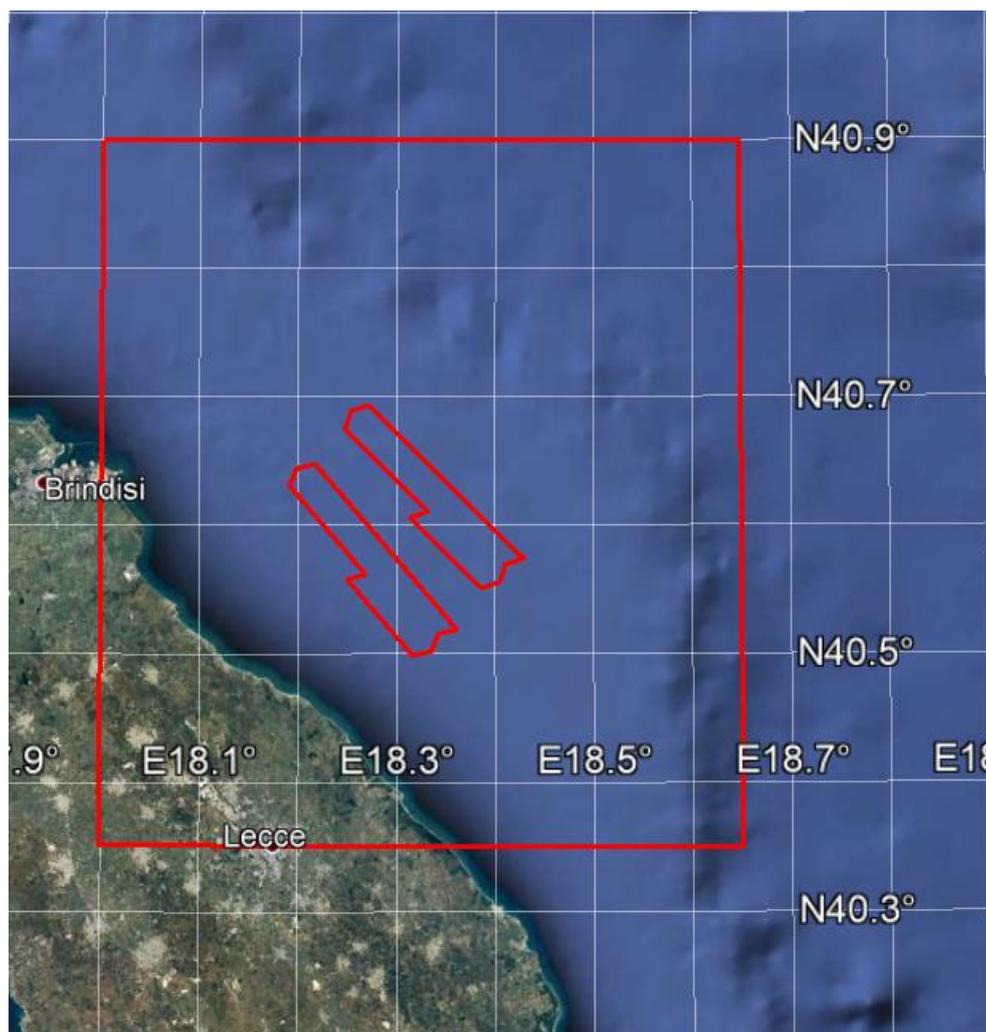


Figura 5-1: Identificazione dell'area di interesse

In Tabella 5-1 sono dettagliate le classi di stazza utilizzate per suddividere il traffico marittimo.

Tabella 5-1: Stazza delle navi e corrispondente classe GRT assegnata

GRT (tonn)	Classe GRT
< 1500	1
1500-5000	2
5000-10000	3
10000-30000	4
30000-60000	5
> 60000	6
NULL	NULL

È importante notare che esiste un legame tra lunghezza delle navi e stazza GRT; utilizzando i dati delle navi per cui sia lunghezza che stazza GRT sono disponibili è stata ricavata una relazione funzionale; sulla base di questa relazione è stato quindi possibile definire la stazza GRT di quelle navi per cui era nota solo la lunghezza. In questo modo, è stato possibile rendere utilizzabili un numero maggiore di registrazioni. Grazie a questa relazione, solo il 4 % delle rotte calcolate non sono risultate utilizzabili.

Da Tabella 5-2 si può osservare come la maggior parte del traffico marittimo relativo ad una singola classe GRT sia costituito da navi di classe medio grande (GRT 4 – 32 %); il 60 % del traffico è composto in maniera equivalente da navi di classe GRT 1, GRT 2, GRT 3 e GRT 5 (15 % per ciascuna classe); con il 6.5 %, le navi di grossa stazza (GRT 6) costituiscono la quota parte inferiore del traffico marittimo nell'area di interesse. In totale sono state calcolate 26126 rotte utilizzabili.

Tabella 5-2: Numero di rotte calcolate per ciascuna classe GRT

Classe GRT	# rotte	# rotte [%]
GRT 1	3678	14.1
GRT 2	3689	14.1
GRT 3	3723	14.3
GRT 4	8341	31.9
GRT 5	3925	15.0
GRT 6	1708	6.5
NULL	1062	4.1
TOTAL	26126	100

Per dare un'ulteriore rappresentazione del traffico marittimo nell'area, Tabella 5-3 riporta la distribuzione del traffico rispetto alla tipologia di imbarcazioni. Come si può osservare, la percentuale massima del traffico è costituita da general cargo (17 %); il 16 % del traffico è costituito da navi di tipo Ro-Ro/Passenger ship, mentre il 40 % ca è costituito in parti uguali da navi di tipo Bulk carrier, Fish Carrier, Oil/Chemical Tanker e Ro-Ro Cargo. Le rotte relative a navi porta container, che costituiscono un potenziale rischio di interazione per i cavidotti, sono 6166, ovvero il 23 % del totale. Mentre, le rotte calcolate relative alle navi per la pesca a strascico sono risultate essere in numero esiguo, 5 sulle 26126 totali.

Tabella 5-3: Numero di rotte calcolate per ciascuna tipologia di nave

Tipologia	# rotte	Tipologia	# rotte	Tipologia	# rotte
Air Cushion Vessel	2	Grab Hopper Dredger	1	Pollution Control Vessel	1
Anchor Handling Vessel	9	Heavy Lift Vessel	2	Port Tender	5
Articulated Pusher Tug	44	Heavy Load Carrier	54	Pusher Tug	68
Asphalt/Bitumen Tanker	22	High Speed Craft	21	Reefer	13
Bulk Carrier	2252	Hopper Barge	11	Research/Survey Vessel	17
Cable Layer	1	Hopper Dredger	11	Ro-Ro Cargo	2132
Cargo	55	Houseboat	4	Ro-Ro/Container Carrier	51
Cargo Barge	4	Livestock Carrier	121	Ro-Ro/Passenger Ship	4198
Cargo/Containership	116	LNG Tanker	174	Sailing Vessel	898
Cement Carrier	134	LPG Tanker	851	Salvage/Rescue Vessel	26
Chemical Tanker	126	Military Ops	25	SAR	7
CO2 Tanker	8	Motor Hopper	22	Special Vessel	1
Container Ship	1515	Offshore Construction Vessel	3	Supply Vessel	11
Crew Boat	1	Offshore Supply Ship	203	Tanker	73
Crude Oil Tanker	973	Oil Products Tanker	86	Trawler	5
Deck Cargo Ship	4	Oil/Chemical Tanker	2598	Tug	137
Diving Support Vessel	2	Ore Carrier	2	Unspecified	23
Dredger	12	Other	280	Utility Vessel	5
Edible Oil Tanker	2	Passenger	13	Vehicles Carrier	557
Fire Fighting Vessel	10	Passenger Ship	671	Water Tanker	3
Fish Carrier	39	Pilot Vessel	1	Wine Tanker	1
Fishing	2256	Pipe Layer	2	Wing In Grnd	2
Floating Storage/Production	2	Pipelay Crane Vessel	2	Yacht	242
General Cargo	4480	Pleasure Craft	423		

5.2 FREQUENZE DI INTERAZIONE

5.2.1 Aerogeneratori

Sulla base delle ipotesi fatte al paragrafo 4.1, la frequenza di interazione del traffico marittimo con gli aerogeneratori è stata calcolata rispetto a tre principali corridoi di traffico lungo cui le rotte sono state assunte disporsi una volta che il parco eolico sarà installato. In particolare, il traffico marittimo è stato previsto disporsi parallelamente alle due sottozone Kailia 1 e Kailia 2 (in direzione Nordovest-Sudest) definendo così tre corridoi

- ✓ Uno ad Ovest di Kailia 1 (corridoio 1);
- ✓ Uno tra le due sottozone (corridoio 2);
- ✓ Uno ad Est di Kailia 2 (corridoio 3).

In mancanza di informazioni più precise, è stato assunto che i tre corridoi sopracitati avranno ampiezza pari a

- ✓ Per il corridoio a Ovest di Kailia 1, la distanza tra il lato Ovest della sottozona e la linea di costa;
- ✓ Per il corridoio al centro delle due sottozone, la distanza tra queste ultime (considerando la zona interdotta alla navigazione attorno alle due sottozone);
- ✓ Per il corridoio a Est di Kailia 2, il limite massimo (10 nm) entro cui una rotta può effettivamente costituire sorgente di rischio per il target;

Infine, le rotte sono state assunte essere distribuite in maniera normale (con valore medio centrato nel corridoio) nell'ampiezza del corridoio.

Pertanto, la frequenza di interazione complessiva per ciascun aerogeneratore si definisce sommando il contributo dato dalle rotte passanti in ciascuno dei tre corridoi.

È opportuno ricordare che, come mostrato in **Error! Reference source not found.**, gli aerogeneratori possono essere raggruppati in cluster in funzione della loro esposizione al rischio di interazione, ovvero, aerogeneratori che sono ugualmente distanti da un dato corridoio di traffico saranno caratterizzati dalla stesa frequenza di interazione. In particolare, sono stati definiti 8 cluster di aerogeneratori: A, B, C, D, E, F, G, H (partendo dagli aerogeneratori più a Ovest della sottozona di Kailia 1 (A) e terminando a quelli più a Est della sottozona Kailia 2 (H)). La frequenza di interazione calcolata per ogni cluster di aerogeneratori terrà quindi conto della larghezza della base dell'aerogeneratore, della distanza dal corridoio considerato e della zona di interdizione alla navigazione ipotizzata attorno a ciascuna sottozona del campo eolico. Una schematizzazione dei cluster e dei corridoi è riportata in Figura 5-2.

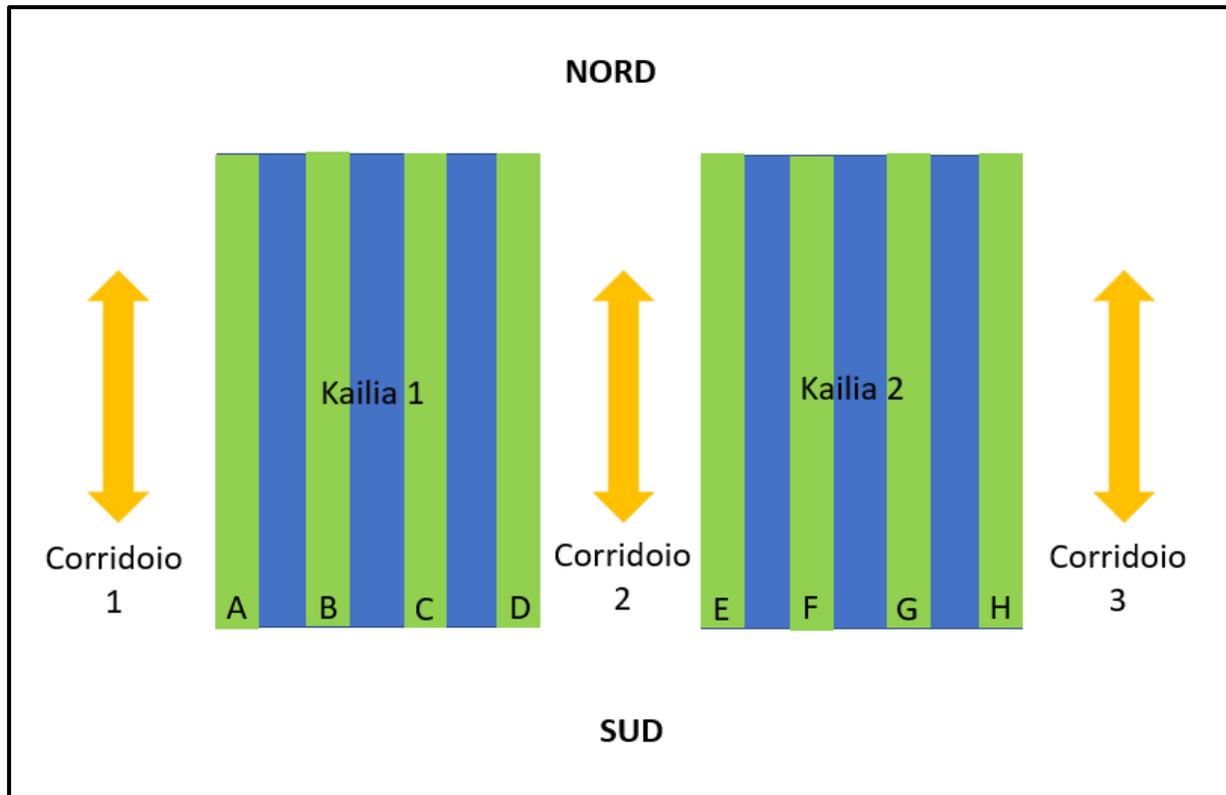


Figura 5-2: Schematizzazione dei cluster e dei corridoi

Tabella 5-4: Frequenza di interazione calcolata per gli aerogeneratori appartenenti a ciascuno dei cluster

Corridoio	Posizione corridoio	Numero rotte calcolate in un anno	Cluster	Frequenza interazione (impatti / anno)
Corridoio 1	Ovest di Kailia 1	713	A	1.84E-05
			B	8.67E-07
			C	2.08E-08
			D	2.54E-10
Corridoio 2	Tra Kailia 1 e Kailia 2	11661	D, E	4.36E-05
			C, F	7.28E-14
Corridoio 3	Est di Kailia 2	8519	H	1.98E-04

			G	3.10E-05
			F	3.63E-06
			E	3.19E-07

In Tabella 5-4, non sono stati riportati i risultati per i cluster A, B, G, e H calcolati considerando il corridoio 2; il motivo è il valore di frequenza trascurabile ottenuto già per i cluster C e F. Per la stessa ragione, i risultati per i cluster A, B, C e D calcolati considerando il corridoio 3 e i risultati per i cluster E, F, G e H calcolati considerando il corridoio 1 non sono stati riportati.

La frequenza di interazione complessiva per ciascun aerogeneratore appartenente ad uno degli otto cluster è data dalla somma dei contributi dei singoli corridoi (Tabella 5-5).

Tabella 5-5: Frequenza di interazione complessiva del traffico marittimo con ciascun aerogeneratore degli otto cluster

Aerogeneratore appartenente al cluster	Frequenza interazione complessiva (impatti / anno)
A	1.84E-05
B	8.67E-07
C	2.08E-08
D	4.36E-05
E	4.39E-05
F	3.63E-06
G	3.10E-05
H	1.98E-04

Infine, un'ulteriore informazione utile è il contributo alla frequenza di interazione complessiva di ciascuna classe di navi che sono state calcolate transitare nei tre corridoi. Questa specifica è riportata in Tabella 5-6 e graficamente in Figura 5-3.

Tabella 5-6: Contributo delle singole classi di navi alla frequenza di interazione complessiva per ciascun aerogeneratore appartenente ad ognuno degli otto cluster

Aerogeneratore appartenente al cluster	Frequenza interazione complessiva – classe GRT 1 (impatti / anno)	Frequenza interazione complessiva – classe GRT 2 (impatti / anno)	Frequenza interazione complessiva – classe GRT 3 (impatti / anno)	Frequenza interazione complessiva – classe GRT 4 (impatti / anno)	Frequenza interazione complessiva – classe GRT 5 (impatti / anno)	Frequenza interazione complessiva – classe GRT 6 (impatti / anno)
A	1.61E-05	1.26E-06	4.39E-07	3.35E-07	2.84E-07	-
B	7.58E-07	5.96E-08	2.07E-08	1.58E-08	1.34E-08	-
C	1.82E-08	1.43E-09	4.96E-10	3.79E-10	3.21E-10	1.97E-15
D	4.50E-06	7.48E-06	8.46E-06	1.66E-05	5.40E-06	1.18E-06
E	4.52E-06	7.51E-06	8.50E-06	1.67E-05	5.46E-06	1.21E-06
F	2.11E-07	3.84E-07	5.22E-07	1.43E-06	7.15E-07	3.65E-07
G	1.80E-06	3.28E-06	4.45E-06	1.22E-05	6.11E-06	3.11E-06
H	1.15E-05	2.10E-05	2.84E-05	7.82E-05	3.90E-05	1.99E-05

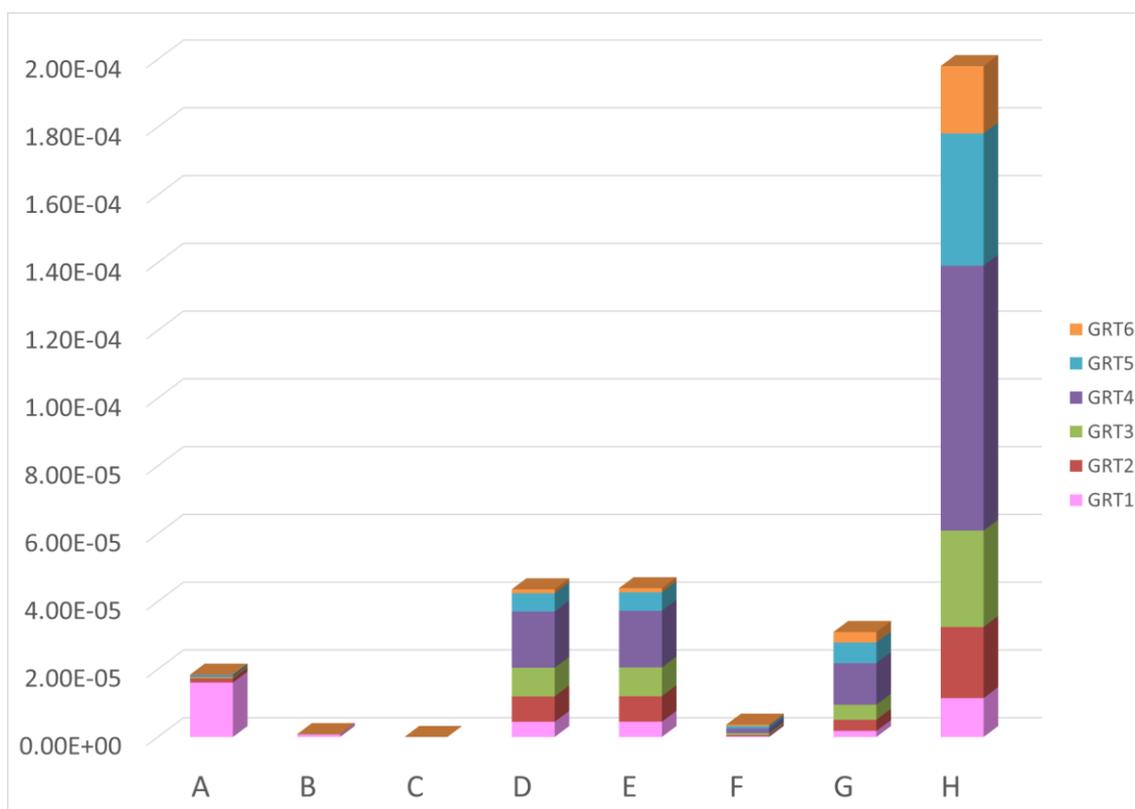


Figura 5-3: Contributo delle singole classi di navi alla frequenza di interazione complessiva per ciascun aerogeneratore appartenente ad ognuno degli otto cluster

Dall'analisi dei risultati presentati, è possibile osservare che:

- ✓ Gli aerogeneratori che fanno parte dei cluster B, C, F sono quelli con la frequenza di interazione complessiva più bassa (nell'ordine di 10^{-8} / 10^{-6} impatti attesi ogni anno);
- ✓ Per gli aerogeneratori che fanno parte dei cluster A, D, E, G è stata calcolata una frequenza di interazione complessiva con il traffico marittimo nell'ordine di 10^{-5} impatti attesi ogni anno;
- ✓ Per gli aerogeneratori che fanno parte del cluster H è stata calcolata una frequenza di interazione nell'ordine di 10^{-4} impatti attesi ogni anno, rendendo gli aerogeneratori disposti in questo cluster quelli più esposti al rischio di impatto;
- ✓ Per gli aerogeneratori che fanno parte dei cluster D, E, F, G, H è interessante osservare che più del 50 % degli impatti attesi (fino al 70% per i cluster F, G, H) sono dovuti a navi di grossa stazza (GRT 4, GRT 5, GRT 6); come conseguenza a questi impatti, è ragionevole attendersi danni di una certa entità agli aerogeneratori;
- ✓ Per gli aerogeneratori che fanno parte dei cluster A, B, C si osserva che solo il 6 % degli impatti attesi sono dovuti a navi di grossa stazza; per questi aerogeneratori è ragionevole aspettarsi quindi danni di entità limitata vista la stazza delle navi maggiormente coinvolte.

Infine, è utile ribadire che i risultati presentati, in termini di frequenza di interazione, sono stati ottenuti sulla base delle assunzioni e ipotesi (ragionevolmente cautelative) descritte al paragrafo 4.1.

5.2.2 Cavidotti

Sulla base dell'elaborazione dei dati AIS, per i cavidotti oggetto del presente studio è stata calcolata la frequenza di interazione con attività esterne legate al traffico marittimo nelle zone interessate. I cavidotti per cui è stata condotta l'analisi sono:

- ✓ Cavidotti tra sottozona Kailia 2 a sottozona Kailia 1
- ✓ Cavidotti tra sottozona Kailia 1 e costa

Per l'ipotesi al punto 3 dell'elenco al paragrafo 4.2 è possibile analizzare uno solo dei cavidotti di ciascun collegamento in quanto rappresentativo di tutto il gruppo di cui fa parte; pertanto, per brevità, è possibile definire con

- ✓ Cavidotto 1, uno dei cavidotti facente parte del gruppo di collegamento tra sottozona Kailia 2 a sottozona Kailia 1
- ✓ Cavidotto 2, uno dei cavidotti facente parte del gruppo di collegamento tra sottozona Kailia 1 e costa

Circa la redistribuzione del traffico intersecante la zona prevista per il parco eolico, è opportuno ribadire che le rotte intersecanti entrambe le sottozone Kailia 1 e Kailia 2 sono state ipotizzate collocarsi nel corridoio tra le due sottozone; le motivazioni di questa assunzione sono riportate al punto 3 dell'elenco al paragrafo 4.2.

Inoltre, le rotte intersecanti i cavidotti appartenenti a navi per cui non sono disponibili le caratteristiche dimensionali non sono state considerate contribuire alla frequenza di interazione. In particolare, Tabella 5-7 riporta il numero di rotte suddivise per classe GRT che intersecano i due cavidotti, dove si nota come per il cavidotto 1 le rotte inutilizzabili sono meno dell'1 % mentre per il cavidotto 2 queste costituiscono il 15 % del numero totale.

Tabella 5-7: Numero di rotte intersecanti i due cavidotti

Classe nave	Numero rotte intersecanti il cavidotto 1		Numero rotte intersecanti il cavidotto 2	
GRT 1	1203	10.2%	650	75.2%
GRT 2	2000	17.0%	48	5.6%
GRT 3	2262	19.2%	14	1.6%
GRT 4	4437	37.7%	11	1.3%

GRT 5	1443	12.3%	9	1.0%
GRT 6	316	2.7%	-	-
NULL	107	0.9%	132	15.3%
TOTALE	11768	100 %	864	100 %

I principali risultati sono forniti in forma grafica e tabellare. In particolare, di seguito sono riportati:

- ✓ Frequenza di interazione, per KP di ciascun cavidotto, con navi in affondamento, caduta di ancore o caduta di container (Tabella 5-8, Figura 5-4 e Figura 5-5);
- ✓ Frequenza di interazione, per KP di ciascun cavidotto, con navi da pesca, specificatamente per l'attività di pesca a strascico (Tabella 5-9, Figura 5-6 e Figura 5-7).

Tabella 5-8: Frequenza interazione con cavidotti per ciascun contributo legato al traffico marittimo, caratterizzato per KP di cavidotto (cavidotto 1)

KP	Frequenza interazione con navi in affondamento (ev / km / anno)	Frequenza interazione con ancore (ev / km / anno)	Frequenza interazione con caduta container (ev / km / anno)	Frequenza interazione con navi da pesca a strascico (ev / km / anno)
0 (Lato Ovest)	3.54E-05	3.18E-06	2.10E-05	1
1	3.41E-05	3.08E-06	2.06E-05	0
2 (Lato Est)	2.73E-05	2.21E-06	1.63E-05	0

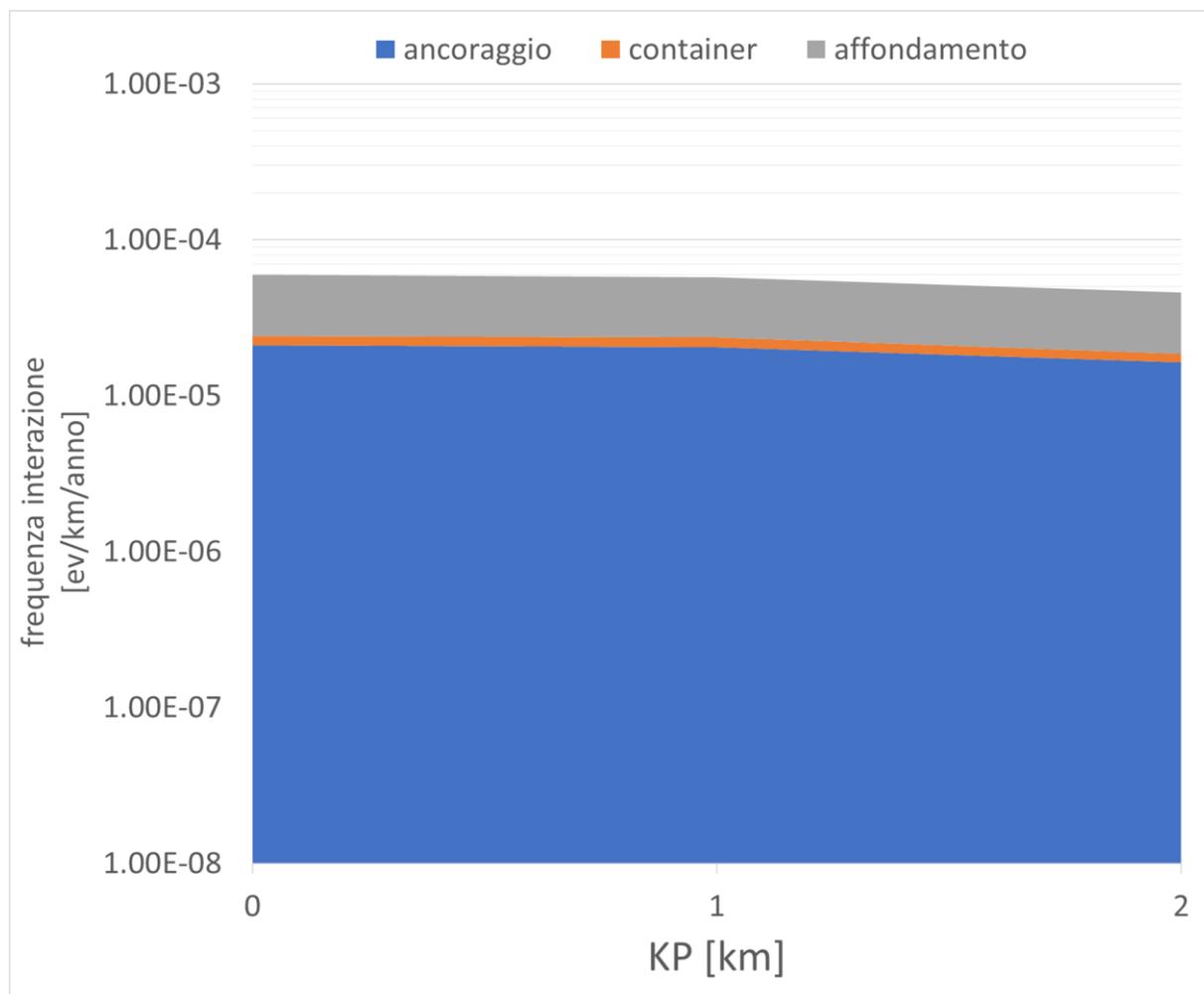


Figura 5-4: Frequenza interazione con cavidotti per ciascun contributo legato al traffico marittimo, caratterizzato per KP di cavidotto (cavidotto 1)

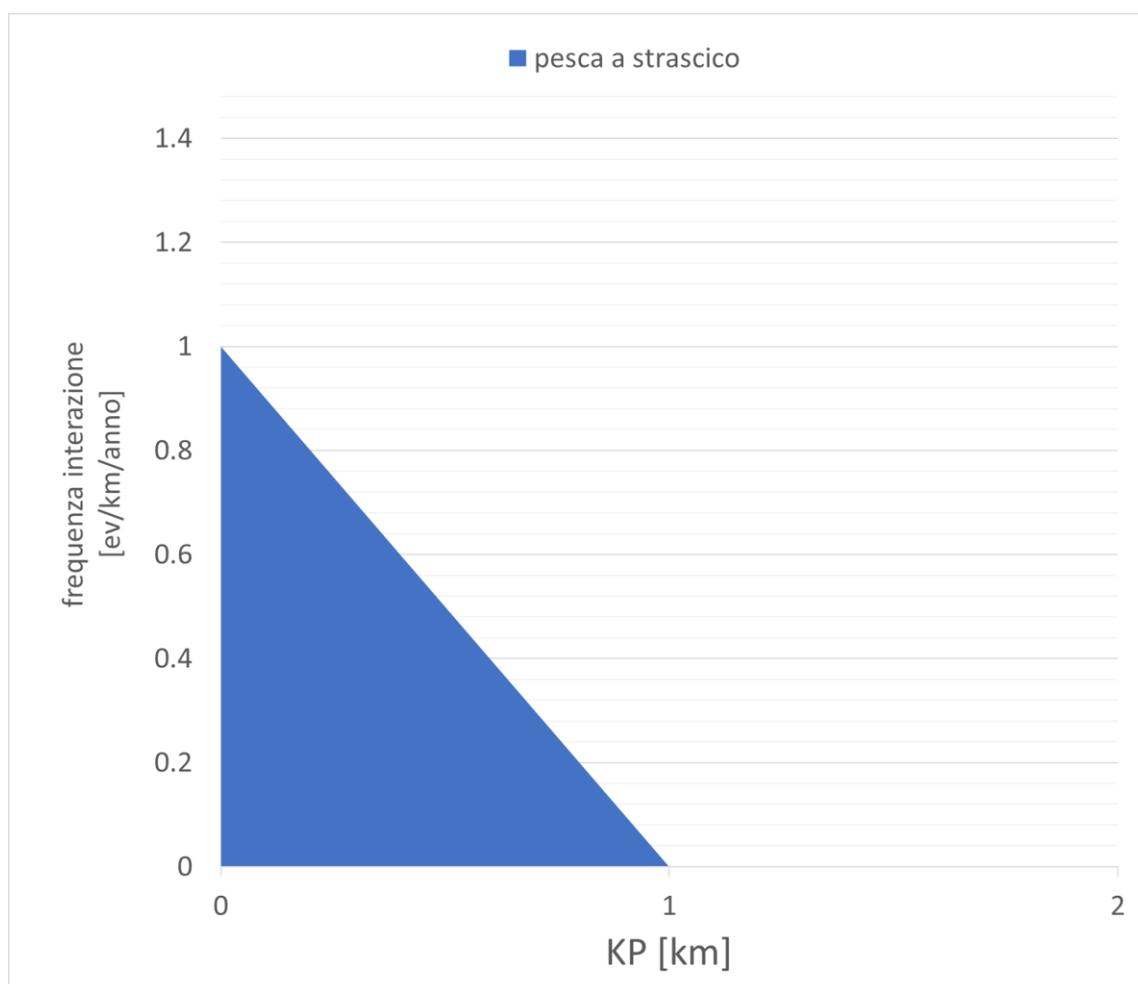


Figura 5-5: Frequenza interazione con cavidotti per imbarcazioni adibite alla pesca a strascico, caratterizzato per KP di cavidotto (cavidotto 1)

Tabella 5-9: Frequenza interazione con cavidotti per ciascun contributo legato al traffico marittimo, caratterizzato per KP di cavidotto (cavidotto 2)

KP	Frequenza interazione con navi in affondamento (ev / km / anno)	Frequenza interazione con ancore (ev / km / anno)	Frequenza interazione con caduta container (ev / km / anno)	Frequenza interazione con navi da pesca a strascico (ev / km / anno)
0 (Lato Ovest)	1.00E-20	1.00E-20	1.00E-20	0
1	8.51E-10	1.00E-20	9.14E-10	0
2	4.31E-09	6.00E-20	6.49E-09	0
3	2.78E-09	4.00E-20	3.23E-09	0
4	6.52E-09	8.00E-20	6.76E-09	0

5	1.75E-08	1.90E-19	1.93E-08	0
6	7.78E-08	4.00E-19	3.59E-08	0
7	4.30E-08	5.10E-19	4.35E-08	0
8	8.02E-08	5.50E-19	6.94E-08	0
9	6.96E-08	6.77E-09	5.20E-08	0
10	6.63E-08	1.85E-09	1.45E-07	0
11	3.67E-08	3.20E-19	2.45E-08	0
12	6.29E-08	5.42E-09	3.91E-08	0
13	1.41E-07	6.00E-09	1.05E-07	1
14	2.27E-07	9.18E-09	1.65E-07	0
15	2.54E-07	2.56E-08	1.40E-07	0
16	4.33E-07	5.36E-08	2.39E-07	0
17 (Lato Est)	2.56E-08	2.71E-09	1.06E-08	0

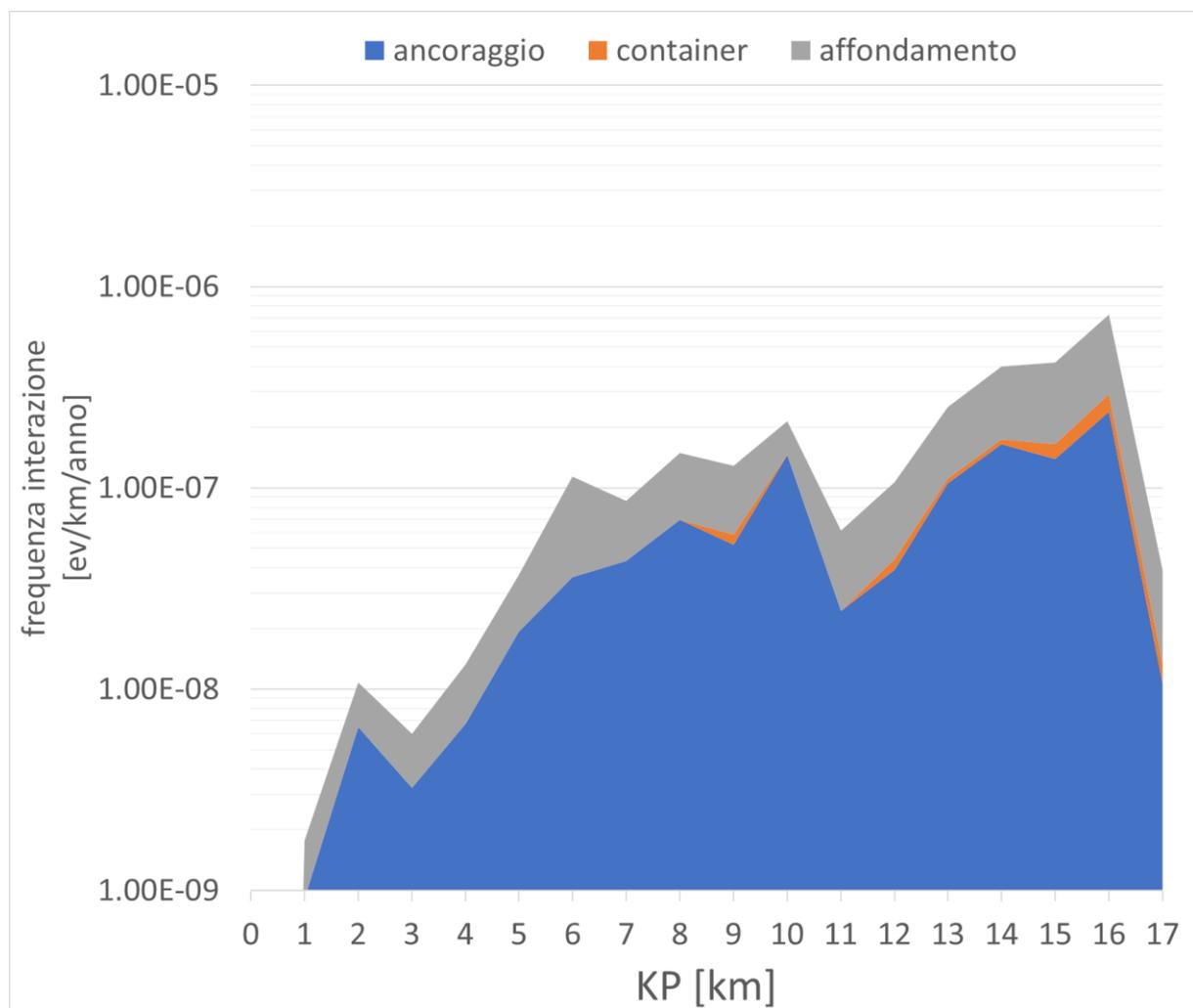


Figura 5-6: Frequenza interazione con cavidotti per ciascun contributo legato al traffico marittimo, caratterizzato per KP di cavidotto (cavidotto 2)

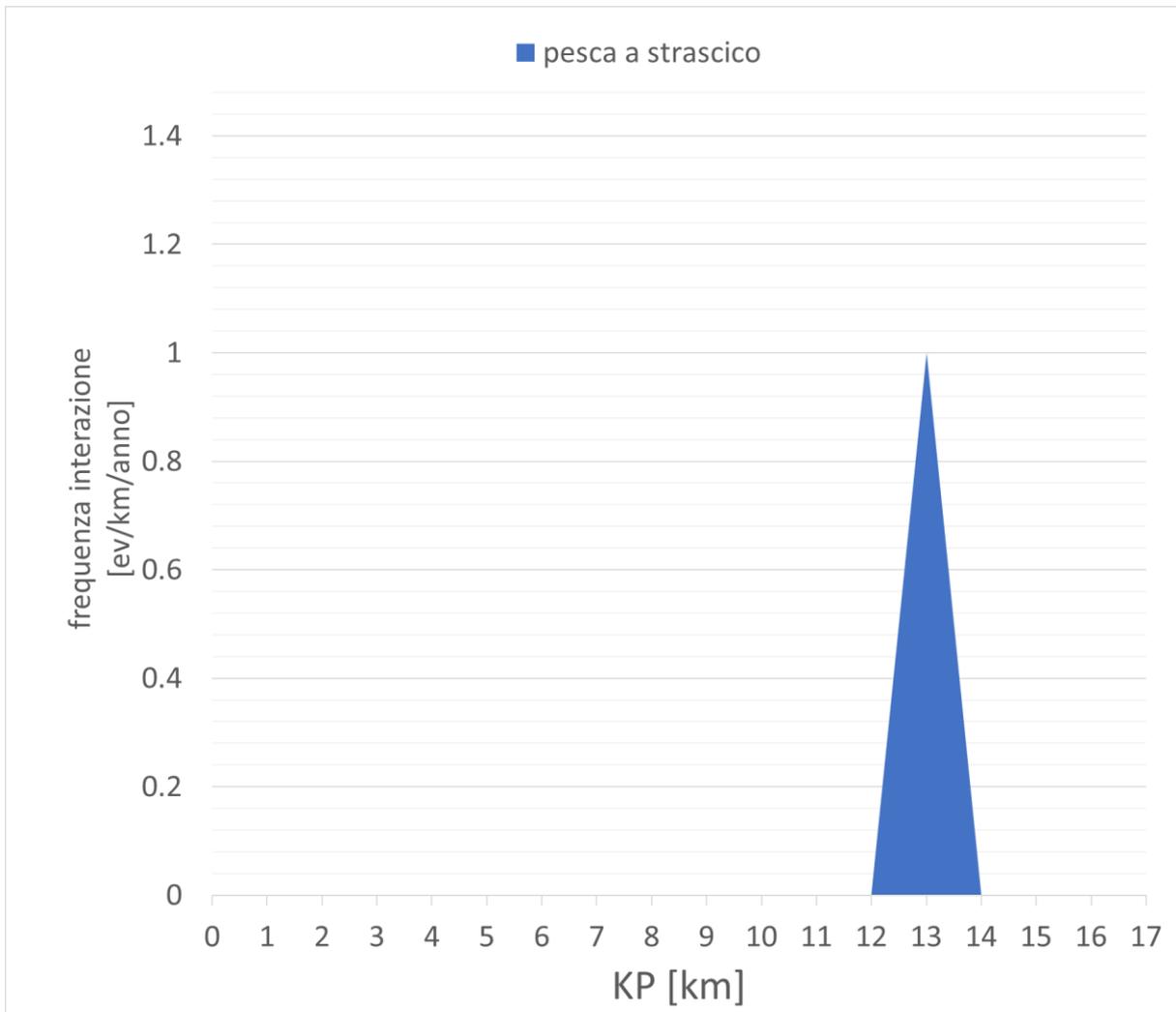


Figura 5-7: Frequenza interazione con cavidotti per imbarcazioni adibite alla pesca a strascico, caratterizzato per KP di cavidotto (cavidotto 2)

Dall'analisi dei risultati è possibile osservare che:

- ✓ Per il cavidotto 1
 - per tutti i KP del cavidotto, la causa di interazione maggiore è l'affondamento (odg 10^{-5} eventi / km / anno); dello stesso ordine di grandezza è la caduta di container mentre il contributo più piccolo alla frequenza di interazione è dato dall'ancoraggio accidentale (odg 10^{-6} eventi / km / anno);
 - per tutti i KP del cavidotto, la pesca a strascico costituisce un problema trascurabile in quanto soltanto una rotta è stata calcolata intersecare il cavidotto durante l'intero anno 2019.
- ✓ Per il cavidotto 2
 - per la maggior parte dei KP del cavidotto (6, 8, 9, 11-17), la causa di interazione maggiore è l'affondamento (odg 10^{-7} / 10^{-8} eventi / km / anno); l'ancoraggio accidentale dà il contributo principale alla frequenza di interazione per i restanti KP (1-5, 7, 10) (odg 10^{-8} / 10^{-9} eventi / km / anno), mentre la caduta di container costituisce il contributo più piccolo alla frequenza di interazione (odg 10^{-9} eventi / km / anno);

- per tutti i KP del cavidotto, la pesca a strascico costituisce un problema trascurabile in quanto soltanto una rotta è stata calcolata intersecare il cavidotto durante l'intero anno 2019

Grazie a quanto ragionevolmente assunto ai punti 5 e 6 dell'elenco al paragrafo 4.2, è possibile ricavare la frequenza di rottura dei cavidotti. Questa si ricava sommando, per ogni KP, la frequenza di interazione calcolata per ciascuna delle cause considerate. I risultati sono riportati in Figura 5-8 e Figura 5-9.

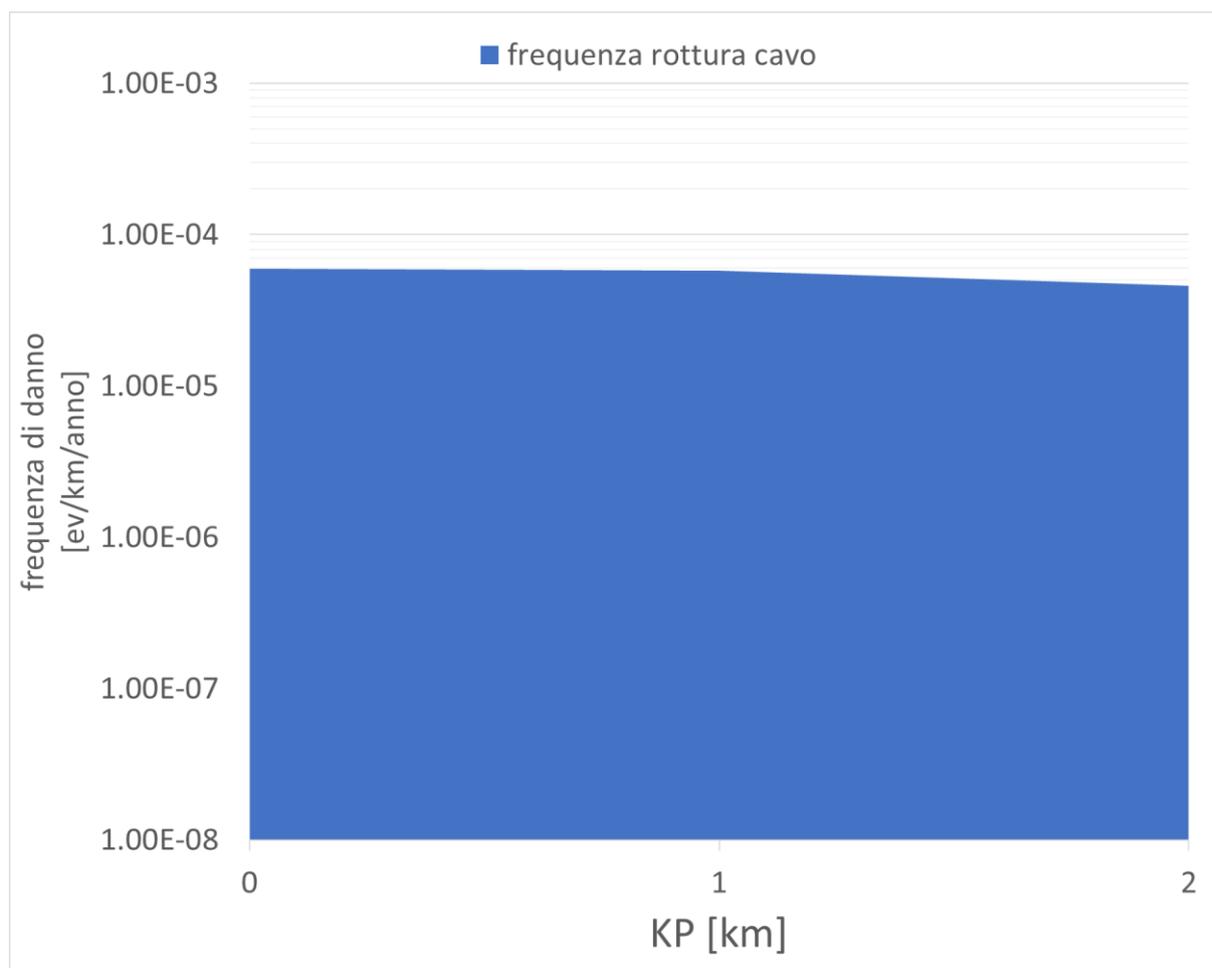


Figura 5-8: Frequenza di rottura del cavidotto 1 legato al traffico marittimo, caratterizzato per KP di cavidotto

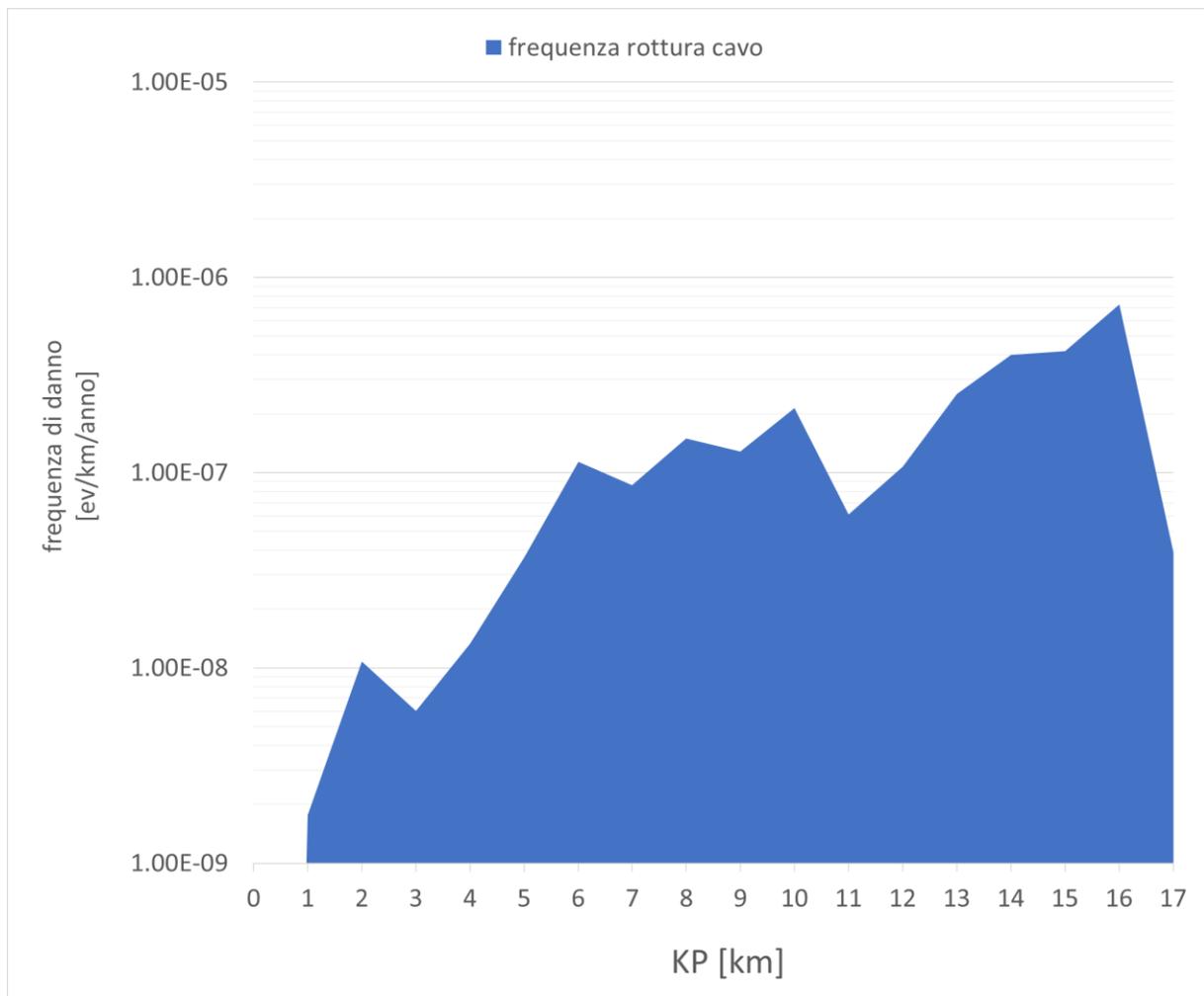


Figura 5-9: Frequenza di rottura del cavidotto 2 legato al traffico marittimo, caratterizzato per KP di cavidotto

Pertanto, è possibile osservare che:

- ✓ Il cavidotto 1 ha una frequenza attesa di rottura che è sostanzialmente costante per tutti i KP del suo percorso, andando da un minimo di $4.57 \cdot 10^{-5}$ eventi / km / anno (KP = 2, lato Ovest) ad un massimo di $5.95 \cdot 10^{-5}$ eventi / km / anno (KP = 0, lato Est); in totale, la frequenza di rottura attesa del cavidotto 1 è pari a $1.63 \cdot 10^{-4}$ eventi / km / anno
- ✓ Il cavidotto 2 ha una frequenza attesa di rottura che varia sensibilmente lungo i KP del suo percorso; in particolare, la frequenza è minima in corrispondenza della costa ($1.76 \cdot 10^{-9}$ eventi / km / anno) e aumenta man mano che si avvicina la sottozona Kailia 1, dove, al KP = 16, si ha il valore massimo che è pari a $7.25 \cdot 10^{-7}$ eventi / km / anno; in totale, la frequenza di rottura attesa del cavidotto 2 è pari a $2.77 \cdot 10^{-6}$ eventi / km / anno

Come osservazione generale, il cavidotto 1 è maggiormente esposto al traffico marittimo rispetto al cavidotto 2, visti gli ordini di grandezza della frequenza di rottura attesa calcolati.

Infine, è utile ribadire che i risultati presentati, in termini di frequenza di interazione (e danno), sono stati ottenuti sulla base delle assunzioni e ipotesi (ragionevolmente cautelative) descritte al paragrafo 4.24.1.

6 MISURE MITIGATIVE

Possibili misure che attuate possono portare ad una riduzione della frequenza di interazione sono elencate di seguito.

6.1 AEROGENERATORI

Viste le frequenze di interazione calcolate, per alcuni degli aerogeneratori (in particolare quelli che fanno parte dei cluster A, D, E, G, H) può essere opportuno l'impiego di eventuali misure di mitigazione.

Esempi di misure che possono portare ad una riduzione della frequenza di interazione sono:

- ✓ L'adozione di un limite di velocità delle navi che transitano nei tre corridoi lungo cui è stato ipotizzato che si distribuisca il traffico
- ✓ L'utilizzo del RACON
- ✓ Prevedere la presenza di una o più standby vessels
- ✓ Prevedere una maggiore estensione della zona di interdizione alla navigazione attorno ai parchi eolici

6.2 CAVIDOTTI

Viste le frequenze di interazione calcolate, cavidotti che potrebbero necessitare l'impiego di eventuali misure di mitigazione sono quelli di collegamento tra le due sottozone.

Come misura di mitigazione, una possibile soluzione potrebbe essere quella di prevedere l'interramento dei cavi. Tuttavia, è opportuno osservare che se anche la profondità di interramento risultasse sufficiente da isolare i cavi da eventuali impatti con ancore e container, si otterrebbe comunque una riduzione della frequenza di interazione non significativa, rimanendo nell'ordine di grandezza di 10^{-5} eventi / km / anno data dalla frequenza di interazione calcolata rispetto a navi in affondamento.

CCO01/MAP/GMU:cco01

REFERENZE

- [1] Risk Assessment of Pipeline Protection, Recommended Practice No. DNV-RP-F107;
- [2] COST 301, 1988 – Shore Based marine navigation aid system
- [3] Review of maritime transport, 2010 - United Nations Conference on trade and development
- [4] Bello G.C., Colombari V., “The human factor in risk analysis of process plants: the control room operator model ‘Teseo’”, Reliability Engineering, 1980
- [5] <http://www.maersk.com/>
- [6] <https://www.guardiacostiera.gov.it/mezzi-e-tecnologie/Documents/manualiVTS/Brindisi-ita-ed02.pdf>
- [7] Relazione descrittiva delle soluzioni di ancoraggio e ormeggio (P0025305-BRD-H13 Rev. 0)
- [8] Marine traffic: <https://www.marinetraffic.com/en>



RINA Consulting S.p.A. | Società soggetta a direzione e coordinamento amministrativo e finanziario del socio unico RINA S.p.A.
Via Cecchi, 6 - 16129 GENOVA | P. +39 010 31961 | rinaconsulting@rina.org | www.rina.org
C.F./P. IVA/R.I. Genova N. 03476550102 | Cap. Soc. € 20.000.000,00 i.v.