



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Prodotto - Livrable T4.2.1:

Servizi pilota di fornitura della pericolosità per categoria di imbarcazione - Services pilotes de fournitures des prévisions météomarines et du péril pour des categories d'embarcation

Data prevista - Date prévue : 31/07/2020

Data di consegna - Date d'échéance : 18/12/2020

Versione - Version : V3.1



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Informazioni generali sul documento <i>/Informations générales sur le document</i>	
Componente / Composante	T4
Attività/Activité	A4.2
Prodotto/Livrabile	T4.2.1
Nome Documento / Nom Document	“Prodotto T4.2.1: Servizi pilota di fornitura della pericolosità per categoria di imbarcazione” / “Livrabile T4.2.1: Services pilote de fournitures de le péril pour des categories d'embarcation “
ID File/ID Fichier	SICOMAR_PLUS_T4.2.1_v3.0.docx

Processo di approvazione / <i>Procédure d'approbation</i>	Nome/Nom	Ente/Établissement	Data/Date	Visto/Vu
Coordinatore/ <i>Coordinateur</i>	Giovanni Besio	UniGe	04/12/2020	
CP Leader/ CP <i>Leader</i>	Jean-Michelle Palazzi	Office de l'Environnement de la Corse	11/12/2020	
Supervisore/ <i>Contrôleur</i>	Tomaso Gaggero	UniGe	02/12/12	
Supervisore/ <i>Contrôleur</i>	Diego Villa	UniGe	02/12/12	



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Processo di revisione / Procédure de révision			
Revisione/ Révision	Autore/Auteur	Data Rev./ Date Rév.	Modifiche/Modifications
V1.0	Alessandro Carchen	05/10/19	Stesura principale
V1.1	Alessandro Carchen	29/11/19	Modifiche CNR
V2.0	Alessandro Carchen	12/02/20	Aggiunta conclusioni e risultati addizionali
V3.0	Filippo Bucciarelli	02/12/12	Aggiunta soglie.
	Tomaso Gaggero	02/12/12	
	Diego Villa	02/12/12	
V3.1	C.C. Marco Tomaino	13/12/2020	Revisione generale documento
	Carlo Brandini	13/12/2020	



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Introduzione

Nell'ambito della componente T4 (*"Servizi per la sicurezza in mare, la prevenzione dei rischi e la protezione dell'ambiente marino"*), il presente prodotto si colloca all'interno dell'attività T4.2, avente come obiettivo globale la generazione di *"applicazioni e servizi per la sicurezza di tutta la navigazione"* (Sicomar Plus, 2018). Il prodotto T.4.2.1 prevede la generazione di *"5 servizi pilota di fornitura delle previsioni della pericolosità per categoria di imbarcazione e servizi pilota di weather routing per alcune categorie di imbarcazione"* (Sicomar Plus, 2018), con particolare interesse per l'area marina protetta denominata *"Pelagos"* e comunemente chiamata Santuario dei Cetacei (Fig. 1).

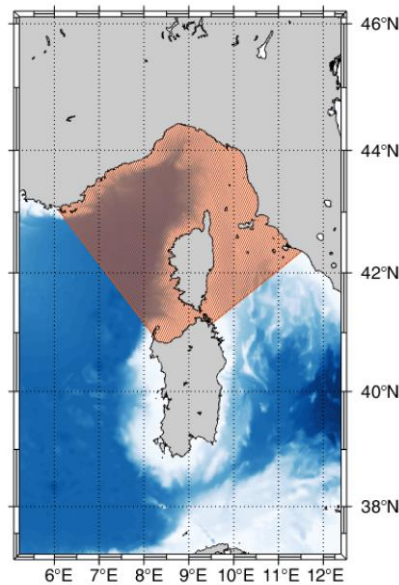


Fig. 1 – Il Santuario dei Cetacei "Pelagos" identificato dall'area evidenziata in rosso.

Obiettivi del prodotto (T.4.2.1)

Realizzazione di prodotti di mappatura dinamica del rischio per categorie di imbarcazione e di un servizio pilota di *weather routing* per il tracciamento di rotte sicure di grandi navi.

Partner coinvolti

I partner coinvolti nel prodotto del T4.2.1 sono l'Università degli Studi di Genova (UniGe), il Comando Generale del Corpo delle Capitanerie di Porto – Guardia Costiera (COGECAP), il Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale per lo sviluppo sostenibile (LaMMA), il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure (ARPAL). Le attività in UniGe sono condotte dai dipartimenti di Ingegneria Civile, Chimica ed Ambientale (DICCA) e di Ingegneria delle Telecomunicazioni, Elettrica, Elettronica e Navale (DITEN).



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Previsioni della pericolosità di navigazione

I criteri comunemente adottati per determinare la navigabilità di determinate tratte di mare derivano nella maggior parte dei casi da una pura osservazione/previsione dello stato del mare, alle volte mutuata dal suo confronto con le dimensioni e la tipologia delle imbarcazioni di interesse. Le previsioni della pericolosità di navigazione vengono cioè effettuate sulla base della causa del pericolo indotto sul natante. Una previsione più accurata può essere effettuata basando i criteri di pericolosità sugli effetti dello stato del mare sulle imbarcazioni di interesse, cioè osservando le conseguenze di una data condizione meteomarina su una determinata imbarcazione o classe di imbarcazioni, valutandone la “tenuta del mare”, ovvero il comportamento sotto l’azione di moti ondosi (studi di dinamica della nave più comunemente e recentemente indicati come *seakeeping*).

La possibilità di stimare in modo più accurato la pericolosità di navigazione per una determinata categoria di imbarcazioni operante su una rotta diventa, di conseguenza, un aspetto di notevole interesse per la pianificazione del viaggio di numerose categorie di natanti, nonché per l’emissione di allerte meteo mirate da parte dell’Autorità competente. La catena informativa che ne risulterebbe avrebbe importanti riscontri nella riduzione/prevenzione dei sinistri in mare e delle casualità e minacce ambientali che ne derivano.

Il metodo proposto nel presente progetto prevede sei fasi principali:

1. Identificazione della densità del traffico navale lungo le rotte principali ricadenti entro l’area di interesse, suddivisa per categorie principali di imbarcazioni, con particolare riguardo per le grandi navi;
2. Caratterizzazione della tenuta al mare delle rotte sopra identificate;
3. Acquisizione delle previsioni delle condizioni meteo marine;
4. Identificazione delle soglie per gli indici di sicurezza;
5. Calcolo delle risposte al mare per ciascuna rotta ed i relativi indici di sicurezza;
6. Generazione di mappatura dinamica della pericolosità di facile accesso.

Le rotte di interesse vengono analizzate mediante un’analisi statistica dei dati statici e dinamici di navigazione trasmessi dal sistema automatico di identificazione (AIS) di bordo, acquisiti e gestiti dalla Guardia Costiera italiana attraverso il proprio sistema di gestione AIS nazionale. L’analisi consente di identificare le rotte, che attraversano le aree d’interesse, soggette a maggior densità di traffico per categoria di imbarcazione. Nella fase successiva, avviene la caratterizzazione di tenuta al mare delle rotte, assumendo che, per una data categoria di imbarcazioni, ogni rotta possa essere generalizzata da una o più navi rappresentative, identificate come le tipologie di navi che più frequentemente percorrono la rotta. Individuando la tenuta al mare di dette navi rappresentative, si caratterizzerebbe dunque la rotta stessa. Mediante i modelli meteomarini ad alta fedeltà implementati da UniGe, CNR, Arpal e LaMMA è poi possibile calcolare gli effetti del mare su ciascuna delle navi rappresentative analizzate in precedenza, consentendo perciò di definire gli effetti delle condizioni meteomarine su ognuna delle rotte individuate entro l’area d’interesse.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Dati AIS

Il primo obiettivo del T4.2.1 concerne l'identificazione delle principali rotte di navigazione nell'area di interesse per le categorie di imbarcazione di maggior rilevanza. In accordo con la classificazione dei dati AIS (Racc. ITU-R M.1371-5) le seguenti tre classi di navi sono state selezionate per l'analisi:

1. Navi passeggeri (inclusi traghetti, Ro-Ro e navi da crociera);
2. Navi da carico (carico alla rinfusa, porta contenitori);
3. Navi petroliere.

Ciascuna classe identifica caratteristiche affini delle navi, con particolare riguardo alle proporzioni ed alle forme di carena. Questo consentirà, in seguito, di effettuare analisi di tenuta al mare su carene rappresentative dell'intera classe.

Al fine di individuare le più importanti rotte di navigazione, per ciascuna categoria di imbarcazione viene condotta un'analisi dei dati emessi dall'Automatic Identification System (AIS). L'A.I.S. è un sistema cooperativo che permette lo scambio di informazioni continuo e reciproco tra le navi (c.d. ship to ship), ovvero tra le navi e le stazioni costiere (c.d. ship to shore), basato su tecnologia radio (banda VHF/FM) del Servizio Radiomobile Marittimo mediante l'utilizzo di due canali dedicati, ove sia garantita la necessaria copertura radioelettrica. L'AIS è un sistema di bordo concepito per la trasmissione di dati statici (nome, identificativo internazionale, MMSI, dimensioni della nave, tipologia di nave e di carico, propulsione, ecc.) e dinamici, ovvero relativi allo stato di navigazione, della nave su cui è installato (rotta vera, velocità vera, ora previsto arrivo e partenza, ecc.) e per la ricezione di analoghi dati dalle navi circostanti. Il sistema A.I.S. è obbligatorio per le navi passeggeri (indipendentemente dalle loro dimensioni), per le navi diverse da quelle passeggeri con una stazza lorda pari o superiore a 300 tonnellate, che operano su rotte internazionali e per tutte le navi mercantili con una stazza lorda pari o superiore a 500 tonnellate che non operano su rotte internazionali, che effettuano scalo in un porto di uno Stato membro, in conformità alle norme tecniche e di funzionamento stabilite nel capitolo V della Convenzione SOLAS. Il sistema A.I.S. è, altresì, obbligatorio per i pescherecci di lunghezza fuori tutto superiore ai 15 metri. L'A.I.S. risponde alle norme di funzionamento definite dall'IMO (International Maritime Organization) ed è stato introdotto a seguito dell'emanazione della Direttiva Comunitaria 2002/59/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, relativa all'istituzione di un sistema comunitario di monitoraggio e di informazione sul traffico navale, recepita ed attuata in Italia con il D. Lgs. 196/2005, così come aggiornato e modificato dal D. Lgs. 18/2011, dal Decreto del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 23/07/2012 e dal D. Lgs. 4/2016.

L'A.I.S., in particolare, è uno degli elementi costituenti il VTMS nazionale - sistema integrato di monitoraggio, controllo e gestione del traffico marittimo e delle emergenze in mare - realizzato e gestito in via esclusiva dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Comando generale del Corpo delle Capitanerie di Porto/Guardia Costiera quale Amministrazione competente per l'Italia, anche per lo scambio delle informazioni acquisite con gli altri Stati dell'Unione europea e più in generale in ambito internazionale. In tale contesto, l'A.I.S. costituisce una fonte di informazioni supplementare e



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

complementare rispetto a quelle fornite dagli altri sistemi di navigazione, monitoraggio e registrazione dei dati di viaggio (radar-VTS, satellitare-LRIT, VDR) e quindi un importante 'strumento' per migliorare la consapevolezza della situazione del traffico marittimo da parte degli utenti per finalità connesse alla sicurezza ed efficienza della navigazione, alla salvaguardia della vita umana in mare, alla tutela dell'ecosistema marino.

Scopo del sistema A.I.S. è, quindi, assistere gli operatori marittimi per l'identificazione delle navi e delle merci trasportate, per il tracciamento delle relative rotte, per la conduzione di operazioni di ricerca e soccorso, per il personale di guardia a bordo (ovvero in servizio presso una stazione di sorveglianza marittima costiera), nonché per semplificare ed ottimizzare lo scambio di informazioni (privilegiando l'invio di dati in formato digitale rispetto alle comunicazioni verbali obbligatorie da parte del bordo, in diversi casi poco intelligibili o che si prestano facilmente a fraintendimenti ed incomprensioni), in definitiva per migliorare la consapevolezza della situazione del traffico marittimo e del contesto in cui essa si inserisce (c.d. "maritime picture awareness").

Le informazioni AIS di tipo statico e relative al viaggio sono trasmesse ogni 6 minuti ovvero su richiesta (polling). Le informazioni dinamiche, invece, vengono inviate con una frequenza che varia in funzione della tipologia di trasponder (l'apparato ricetrasmittente presente a bordo) ed a seconda della velocità della nave e dell'eventuale accostata della medesima: per un trasponder classe A (che è quello installato a bordo delle navi d'interesse, essendo i classe B previsti solo a bordo delle unità da diporto), si va da un minimo di 2 secondi per velocità superiori ai 23 nodi in accostata, ad un massimo di 3 minuti per navi all'ancora, ormeggiate o con una velocità inferiore o uguale ai 3 nodi.

Nel caso specifico, i dati AIS vengono utilizzati per identificare le aree a maggiore densità di traffico marittimo e di conseguenza le rotte principali ricadenti entro l'area d'interesse e le loro caratteristiche.

In questo progetto, i dati AIS sono forniti ad UniGe dalla Guardia Costiera Italiana sotto forma di stringhe di testo già processate per la successiva analisi. Per una migliore accessibilità, i dati vengono archiviati in un database gestito tramite MySQL server e, per migliorarne ulteriormente la qualità e renderli maggiormente fruibili e processabili, vengono ulteriormente implementate alcune semplici funzioni in linguaggio SQL. La maggior parte dei dati "non validati" viene originata dalla corruzione del messaggio AIS in fase di trasmissione o ricezione; di conseguenza, la decodifica del messaggio produce valori errati e, per alcuni campi, palesemente incongrui. Questo consente di stabilire dei filtri qualitativi che consentano di estrarre dal database unicamente i dati corretti. Inoltre, è implementato un filtro basato sulla velocità delle imbarcazioni al fine di analizzare dati AIS trasmessi dalle sole navi in movimento (velocità superiore ai 3 nodi).

L'analisi dei dati AIS è condotta mediante un approccio a "grigliato", secondo il quale l'area di interesse viene suddivisa in celle di dimensione predefinita caratterizzate da una particolare informazione, nel presente caso attinente al traffico navale.

La procedura adottata può essere riassunta come segue:

1. Studio della distribuzione della densità di messaggi AIS;



2. Individuazione ed isolamento delle aree di transito soggette a maggiore densità di traffico mediante l'opportuna identificazione di una soglia di densità;
3. Estrazione dei dati AIS contenuti all'interno di dette aree.

L'intero procedimento viene eseguito utilizzando il software GIS freeware QGIS. La distribuzione della densità viene valutata mediante *Kernel Density Estimation* (KDE) su di un grigliato georeferenziato con celle di dimensione circa equivalente ad una lunghezza di una generica nave di piccole-medie dimensioni (100m). La KDE in sostanza stima il contributo di un dato rispetto ad un punto in base alla loro mutua distanza ed alla funzione di Kernel scelta. Questo progetto impiega la funzione kernel di Epanechnikov date le sue proprietà interpolanti (Fig. 2). Il valore (minimo) soglia per l'identificazione delle aree ad elevato traffico marino è definito a circa un decimo del valore di densità massima, a sua volta determinato come la massima densità riscontrata nei punti di separazione delle rotte. Una volta identificate le rotte principali, i dati AIS in esse circoscritti vengono esportati per essere analizzati in ambiente Matlab. Per le finalità dell'analisi, le rotte vengono definite come segmenti retti che iniziano e terminano nella confluenza di più segmenti (Fig. 3). I codici rotta sono qui assegnati a partire dalla posizione geografica del centro geometrico del segmento stesso in gradi decimali con precisione al secondo decimale seguendo lo schema R_<longitudine>.<latitudine>.

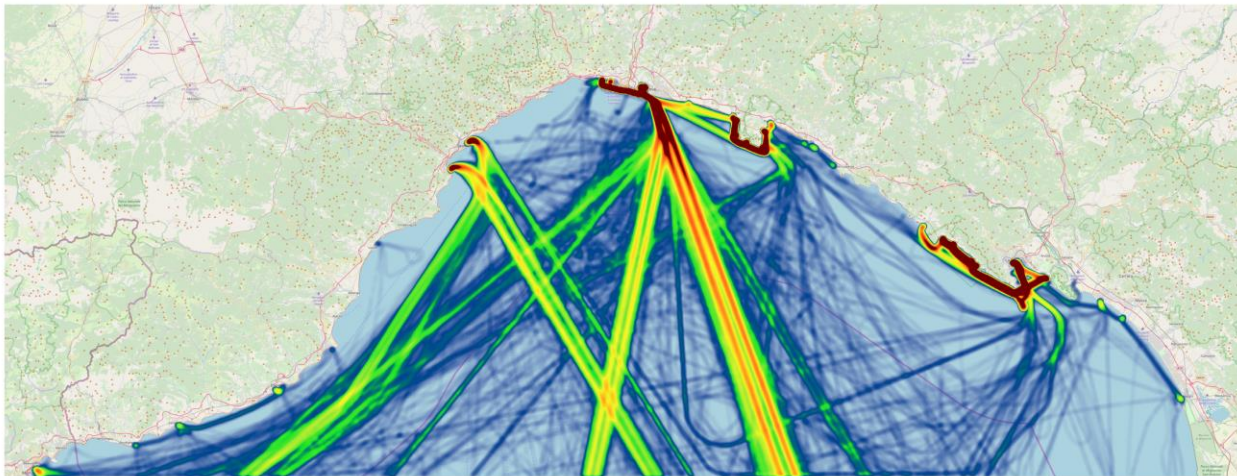


Fig. 2 – KDE delle tratte passeggeri nel Nord Tirreno.

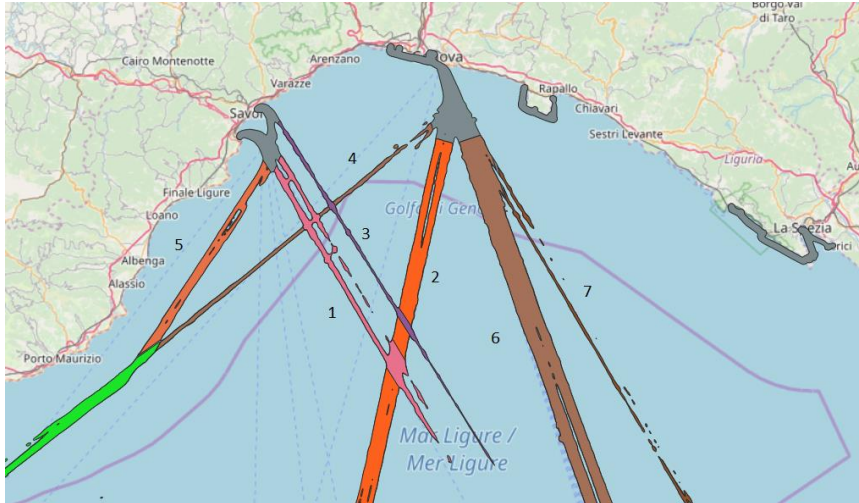


Fig. 3 – Segmenti di rotte passeggeri individuati dalla soglia di densità applicata alla KDE:

1. R_897.4369
2. R_871.4348
3. R_896.4382
4. R_865.4413
5. R_837.4405
6. R_931.4366
7. R_950.4368

Analisi delle principali rotte di navigazione

L'analisi delle rotte identificate al paragrafo precedente ha il duplice scopo di:

1. Osservare le caratteristiche generali della rotta;
2. Identificare le navi rappresentative della rotta stessa.

In prima istanza, viene condotta un'analisi delle direzioni della rotta basata sullo studio statistico del campo COG (Course Over Ground) dei dati AIS. Un modello Gaussiano di mistura di distribuzioni viene impiegato per identificare le direzioni prevalenti nella rotta e per escludere dalle analisi i dati trasmessi da eventuali imbarcazioni che la attraversano (Fig. 4).

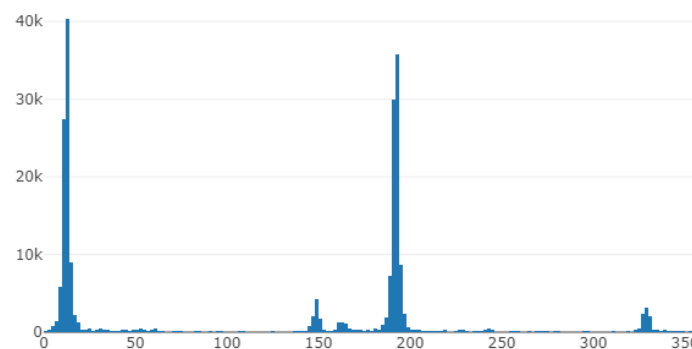


Fig. 4 – Distribuzione degli angoli di prua lungo la rotta R_871.4348 (parte della rotta Genova-Porto Torres).



La distribuzione trasversale della rotta viene poi stimata come distanza dei singoli messaggi AIS dal punto mediano della rotta stessa calcolato mediante il metodo dei minimi quadrati, consentendo di stabilirne la larghezza e di validare la scelta della soglia di densità minima descritta nella sezione precedente (Fig. 5). Per un quadro più completo, viene condotto anche uno studio statistico della distribuzione della velocità delle navi di ciascuna rotta.

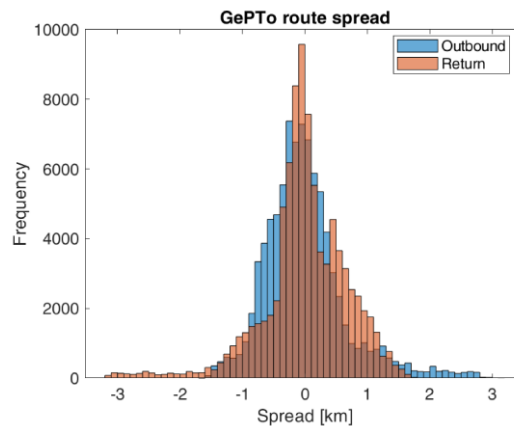


Fig. 5 – Distribuzione trasversale della rotta R_871.4348.

In secondo luogo, è necessario stabilire un metodo per misurare la navigabilità di ciascuna rotta. Basandosi sull'assunto che le caratteristiche di una classe di imbarcazione non varino eccessivamente su una data rotta, la risposta ad una determinata condizione meteomarina su tale rotta può essere generalizzata studiando la risposta di una o più navi rappresentative. La selezione di una nave rappresentativa viene effettuata considerando le caratteristiche della nave che maggiormente influenzano la tenuta al mare e che siano al contempo ottenibili dal dato AIS. La teoria di riferimento (Bhattacharyya, 1978; Lloyd, 1989) identifica nella lunghezza una delle caratteristiche principali che influenza la tenuta al mare ed è estraibile dal dato AIS (ITU-R, 2014). Conducendo un'analisi statistica della distribuzione della lunghezza nave che caratterizza le imbarcazioni è dunque possibile determinare quale "famiglia" di carene si trovi a navigare più frequentemente su una data rotta. La distribuzione della lunghezza nave può essere valutata:

- a) Per l'insieme di imbarcazioni che passano su una data rotta, prese una volta sola
- b) Per il totale dei dati AIS, ossia per le imbarcazioni che passano su una data rotta pesate per il numero di messaggi AIS ricevuto da ciascuna imbarcazione.

Poiché il secondo metodo consente di stimare le lunghezze nave più frequenti su una data rotta, è anche più adatto a caratterizzarla.

Le navi sono suddivise in famiglie di carene in base alla classe di lunghezza, ossia in base a quale intervallo di lunghezze appartengono, tali intervalli hanno ampiezze di 50 m. All'interno di ciascuna famiglia, viene identificata una sola nave a rappresentanza dell'intervallo di lunghezze e di questa



vengono salvati i dati relativi alle dimensioni principali, alla velocità media in navigazione ed all'identificazione della nave. Si deve notare che su una data rotta una famiglia di carene possa essere nettamente più probabile delle altre, ma possono presentarsi anche casi con una distribuzione multimodale delle probabilità. È stato quindi determinato che una famiglia di carene è sufficientemente rappresentativa di una rotta qualora la probabilità associata sia superiore alla metà della probabilità maggiore fra tutte le famiglie. L'algoritmo identifica perciò alcune rotte aventi più di una famiglia di navi rappresentative. Le informazioni ricavate dall'analisi delle rotte presentata in questa sezione vengono archiviate in due tabelle riassuntive, delle quali due esempi sono presentati in Tabella 1 e 2.

Codice rotta	Dispersione	Velocità media [Knts]	Dev. St. Velocità [Knts]	Direzione principale	Altra direzione	Numero di WP
R_837.4405	2,04	19,1	8,7	214,3	41,5	4
R_865.4413	1,29	15,1	6,7	51,0	201,3	6
R_871.4348	4,06	19,2	3,9	16,1	196,5	20
R_896.4382	0,54	17,9	5,5	327,7	146,0	11
R_897.4369	2,37	14,4	7,8	143,6	329,1	14
R_931.4366	2,73	21,2	5,2	160,3	339,2	14
R_950.4368	1,36	18,6	6,0	149,5	230,6	1

Tabella 1 – Tavola riassuntiva delle caratteristiche delle rotte identificate in Fig. 3.

Codice rotta	Nome nave	Codice nave	L/B	L [m]	Velocità media [Knts]
R_837.4405	CRUISE SMERALDA	247343200	7,7	200	20,6
R_837.4405	COSTA DIADEMA	247353700	6,1	304	14
R_865.4413	MSC MERA VIGLIA	249973000	6,1	316	14,5
R_871.4348	SHARDEN	247130700	8,2	214	19,2
R_896.4382	COSTA DIADEMA	247353700	6,1	304	17,7
R_897.4369	MEGA EXPRESS TWO	247036100	7,1	170	13,8
R_897.4369	MEGA EXPRESS	247013400	7,0	176	13,2
R_931.4366	EXCELSIOR	247351100	7,0	202	22,1
R_950.4368	MSC MERA VIGLIA	249973000	6,1	316	19

Tabella 2 – Tavola riassuntiva delle caratteristiche delle navi rappresentative.

Caratteristiche di tenuta al mare di navi rappresentative

La tenuta al mare di una nave è intesa come il comportamento, ovvero i moti, della nave in un mare non calmo. Lo studio dei moti è motivato da ragioni di carattere dinamico, strutturale, funzionale e



Interreg



SICOMAR
plus

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

lavorativo. I moti a cui un'imbarcazione è soggetta in uno stato di mare pongono infatti significative problematiche alla sua stabilità, introducendo di conseguenza il rischio di imbarco di acqua e capovolgimento. Allo stesso tempo, i carichi dinamici indotti possono causare significativi danni strutturali, inclusi perdita di carico, deformazioni strutturali, fino alla rottura ed all'affondamento dell'imbarcazione. Gli spostamenti e le accelerazioni che si generano a bordo possono inoltre ostacolare o impedire del tutto le operazioni di lavoro a bordo, in parte per ragioni tecniche, ovvero strumentali, in parte per il malessere che essi causano all'equipaggio.

Le caratteristiche di tenuta al mare di un'imbarcazione possono essere stimate mediante esperimenti in vasca navale, metodi analitici e metodi numerici. L'impiego di esperimenti o metodi numerici avanzati (ad es. solutori RANSE) generalmente produce i risultati più accurati, previo investimento di tempi e risorse non indifferenti. Dal momento che il problema dei moti nave è principalmente legato a fenomeni potenziali e non viscosi, esistono metodi analitici e numerici che pur basandosi su diverse assunzioni riescono tuttavia a produrre stime di sufficiente precisione.

Fra queste, la *strip theory* è basata sull'ipotesi che il problema tridimensionale dei moti nave possa essere scomposto in un numero discreto di problemi bidimensionali suddividendo la carena in strisce (*strips*), ovvero sezioni trasversali dello scafo, non aventi alcuna interazione fra loro. Nella formulazione originale, il contributo di ciascuna striscia al moto totale della nave, considerato come puro risultato delle forze potenziali, viene integrato sulla lunghezza dello scafo (Korvin-Kroukovsky & Jacobs, 1957). Alcune formulazioni della *strip theory* permettono anche l'inclusione di matrici di smorzamento viscoso che consentono una migliore stima dei moti di rollio (ad es. (Fathi & Hoff, 2016)). In generale, la *strip theory* ha riscontrato un considerevole successo grazie ai risultati che in molti casi ben approssimano i metodi tridimensionali e gli esperimenti in vasca. Il presente progetto utilizza una formulazione della *strip theory* nel metodo proposto da Söding (Söding, 1969, 1993) ed implementato nel programma di dominio pubblico PDSTRIP (Söding, 2006). Essendo un programma relativamente conosciuto, in letteratura sono presenti diversi studi di confronto dei suoi risultati con esperimenti ed altri codici di calcolo di tenuta al mare, ad es. (Gourlay et al., 2015).

PDSTRIP viene utilizzato per calcolare la tenuta al mare di ciascuna carena rappresentativa per ogni rotta in onde regolari (sinusoidali). Assumendo che, a parità di dimensioni, per una data tipologia di imbarcazione le forme di carena non varino sufficientemente da causare importanti differenze nella tenuta al mare, il metodo qui presentato definisce la carena di ognuna delle navi rappresentative definite in precedenza a partire da una carena madre che viene di volta in volta scalata in affinità (Fig. 7). Gli input principali del programma sono dunque così riassunti:

1. Geometria della carena (carena madre);
2. Lunghezza, larghezza ed immersione (carena madre);
3. Dislocamento (carena madre);
4. Coordinate del centro di gravità (carena madre);
5. Numero, dimensioni e centro di ciascun timone ed altre eventuali appendici (carena madre);
6. Fattori di scala calcolati come rapporti fra lunghezze, larghezze ed immersioni della carena madre e di ciascuna nave rappresentativa;



7. Velocità della nave rappresentativa.

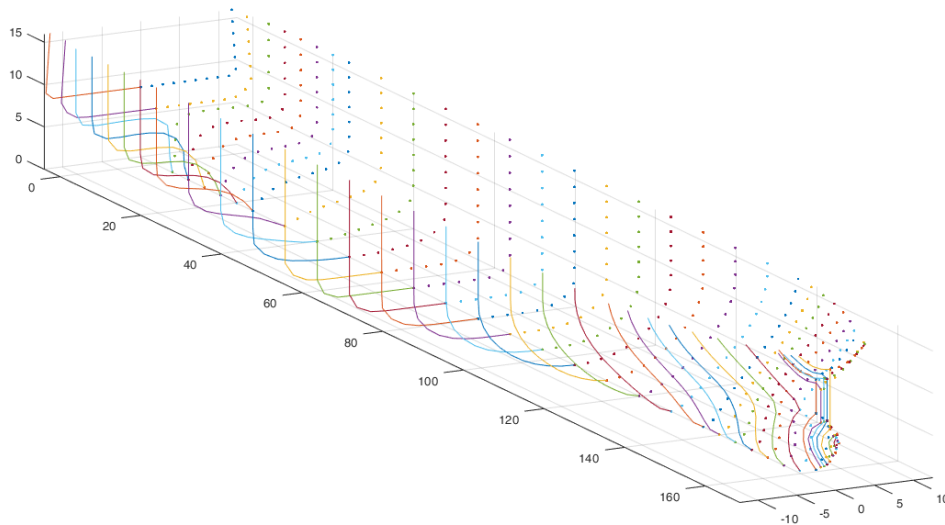


Fig. 6 – Geometria input della carena madre per le navi passeggeri.

Gli operatori di risposta (RAO) sono sostanzialmente delle funzioni di trasferimento che mettono in relazione l'eccitazione e la risposta di un sistema nel dominio della frequenza. I RAO dei moti, accelerazioni e fasi di ciascuna delle carene rappresentative vengono calcolati per ciascuno dei sei gradi di libertà (abbrivio, deriva, sussulto, rollio, beccheggio ed imbardata) per angoli di incontro da 0° (mare in poppa) a 180° (mare in prua) con intervalli di 15° . I RAO degli angoli da 180° a 360° sono chiaramente gli stessi dell'intervallo 0° - 180° . Le lunghezze d'onda regolare a cui condurre le simulazioni vengono definite in base alla lunghezza della nave in modo da ottenere una maggiore risoluzione intorno alle frequenze di risonanza della nave (rapporto fra lunghezza d'onda e lunghezza nave prossimo all'unità) e ridurre il carico computazionale per lunghezze d'onda molto grandi (superiori a tre volte alla lunghezza nave) o relativamente piccole (inferiori ad un terzo della lunghezza nave). In Fig. 7, 8 e 9 sono riportati gli operatori di risposta del sussulto e del beccheggio di una delle navi rappresentative descritte in Tabella 2 avente lunghezza 202m e velocità media 22.1kn.

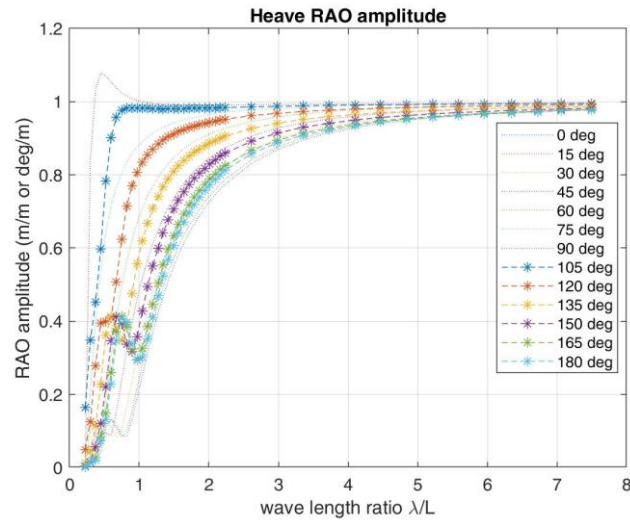


Fig. 7 – Operatori di risposta del sussulto per la nave rappresentativa avente $L=202$ [m].

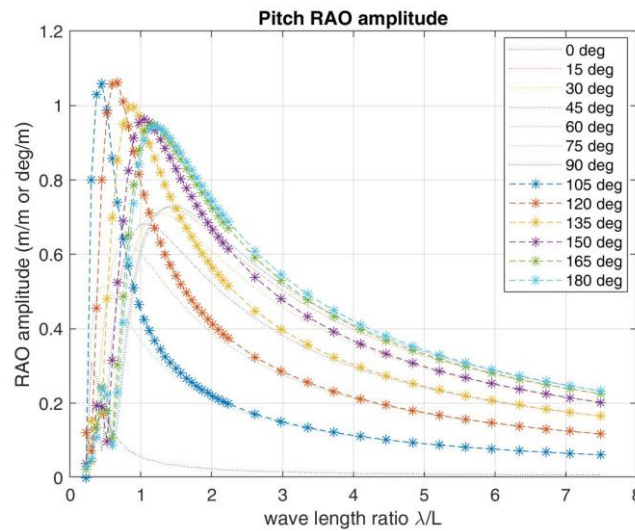


Fig. 8 – Operatori di risposta del beccheggio per la nave rappresentativa avente $L=202$ [m].

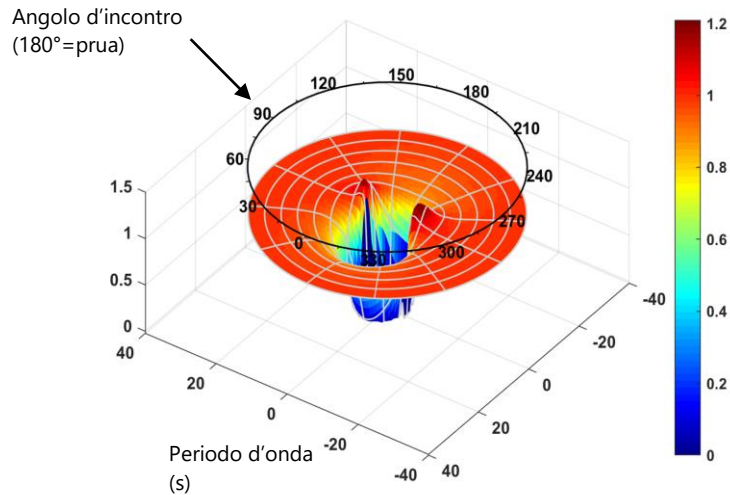


Fig. 9 – Operatori di risposta di cui alla Fig. 8 rappresentati in forma tridimensionale.

Condizioni meteomarine

Le condizioni meteomarine per le quali l'analisi viene condotta vengono calcolate dal modello meteomarino *WavewatchIII* nella revisione implementata dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica ed Ambientale (DICCA) di UniGe. Il modello fornisce ogni giorno in una griglia spaziale con risoluzione di 20 km gli spettri direzionali di densità energetica d'onda calcolati ogni tre ore per un periodo di cinque giorni dalla data di previsione. Figura 10 mostra una rappresentazione dello spettro d'onda direzionale calcolato dal DICCA in un punto della griglia, dove la misura angolare rappresenta l'angolo di provenienza del sistema ondoso, la misura radiale rappresenta il periodo d'onda ed il colore la densità spettrale.

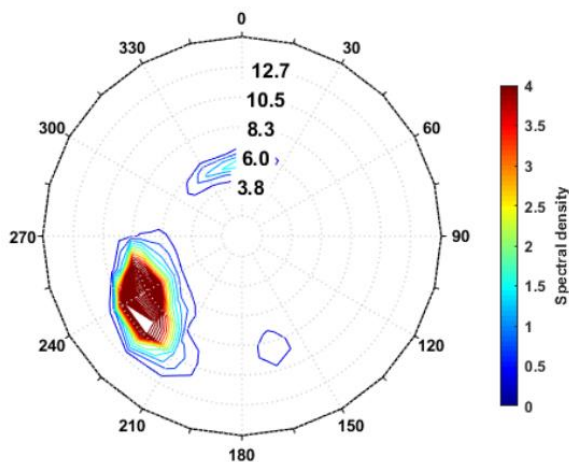


Fig. 10 – Spettri d'onda direzionali fuori dal porto di Genova al 4 Aprile 2019.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Analisi della risposta al mare ed indici di pericolosità

Gli operatori di risposta in onde regolari calcolati in precedenza vengono di conseguenza usati per filtrare gli spettri d'onda ottenuti, generando gli spettri completi dei moti, accelerazioni e fasi della nave in mare irregolare. Ai fini dello studio qui presentato è necessario definire, per ogni categoria di imbarcazione, degli indici di pericolosità che possano identificare le condizioni meteomarine maggiormente rischiose per la navigazione, ovvero delle caratteristiche legate ai moti nave che influiscano sulla sicurezza della navigazione. Nella metodologia presentemente adottata, viene utilizzato un codice a tre colori per identificare gli stati di "non pericoloso", "pericolosità media" e "pericolosità alta". Per applicare tale metodologia è necessario definire le soglie che permettano di identificare uno stato di pericolosità in base al superamento o meno della stessa da parte dell'indice associato.

➤ **NAVI PASSEGGERI**

Dato il tipo di carico trasportato, la priorità di traghetti, battelli e navi da crociera (tutte rientranti nella categoria di navi passeggeri) è di minimizzare il disagio dei passeggeri a bordo; nel caso specifico, di ridurre i sintomi e gli effetti del mal di mare. Si deve tuttavia ricordare che il mal di mare non solo produce disagio, ma anche inabilità ad adempiere ai doveri di bordo (ISO, 1997).

MSI

L'indice di *Motion Sickness Incidence* (MSI) (O'Hanlon & McCauley, 1974; ISO, 1997), è stato studiato per correlare le accelerazioni a cui il corpo umano è soggetto agli effetti di disagio che esse producono. In particolare, l'MSI identifica la percentuale media di persone che, esposta a date accelerazioni per un periodo di due ore, è soggetta ad emesi. La formulazione derivante dai British Standards ISO 2631-1 (ISO, 1997), prevede la dipendenza dell'MSI dall'integrale del valore assoluto dell'accelerazione misurata e dalla radice del tempo di esposizione (2h).

MII

L'indice di *Motion Induced Interruption* (MII) (Graham, 1990; Crossland, 2000), è stato studiato per correlare le accelerazioni e i moti a cui il corpo umano è soggetto agli effetti di perdita di equilibrio che questi producono. Il metodo di Graham descrive il problema riducendolo alla domanda se il momento intorno al piede del soggetto gli causi o meno il ribaltamento, conseguentemente il livello di rischio è da associare al numero di volte che si verifica la perdita di equilibrio (MII).

Si assume che dove tali indici sottostiano alle soglie associate le problematiche strutturali e di stabilità siano di secondaria importanza.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

➤ NAVI DA CARICO

Vi sono differenti problematiche per la sicurezza della navigazione quali, la perdita di equilibrio dei membri dell'equipaggio con conseguente rischio di infortunio e perdita di concentrazione sulle operazioni di lavoro, la movimentazione dei carichi alla rinfusa dentro le stive con conseguenti problematiche sulla stabilità, la perdita di capacità di manovrabilità dovuta all'inefficienza degli impianti di governo a causa dei moti nave conseguendo un aumento del rischio di sinistri, il danneggiamento strutturale o del carico dovuto allo slamming, all'acqua sul ponte o ai moti ed accelerazioni eccessive, ed infine la perdita di container in mare a causa della rottura dei rizzaggi sempre in seguito ad accelerazioni eccessive sui container.

MII

Per quanto concerne la perdita di equilibrio si utilizza come per le navi passeggeri l'indice MII.

Mot

I moti nave di rollio e beccheggio sono utilizzati come indice data la loro influenza sulla sicurezza della navigazione, difatti limitati dalle "common structural rules" (AICS 2020).

Acc

Le accelerazioni di sussulto, rollio e beccheggio sono utilizzate come indice data la loro influenza sulla sicurezza della navigazione, difatti limitati dalle "common structural rules" (AICS 2020).

PSlam

In certe condizioni di navigazione è possibile che si verifichi il fenomeno di slamming ovvero che la prua fuoriesca dell'acqua e nel ridiscendere urti sulla superficie generando un forte carico localizzato, tale fenomeno viene predetto in forma probabilistica (Ochi, M.K., 1964) utilizzando il moto verticale relativo in relazione con l'immersione nella zona di prua e la velocità verticale relativa in relazione con la velocità critica.

PGrWa

In certe condizioni di navigazione è possibile che si verifichi il fenomeno di green water ovvero di acqua sul ponte che può causare danni alle boccaporte con un conseguente problema di allagamento delle stive oppure danneggiamento del carico sul ponte. Tale fenomeno è predetto in forma probabilistica (Lloyd, 1989) utilizzando il moto verticale relativo in relazione con il bordo libero nella zona di prua.

PEP

In certe condizioni di navigazione è possibile che l'elica fuoriesca in parte o del tutto dall'acqua producendo una perdita di spinta e dunque della capacità di governo della nave, il che porta ad un aumento del rischio di sinistro marittimo, anche questo fenomeno si predice in forma probabilistica (Lloyd, 1989) utilizzando il moto verticale relativo nella zona dell'elica in relazione con l'immersione dell'elica.

AcCo

Il problema della perdita dei container in mare produce molteplici rischi sia ambientali che per la sicurezza della navigazione generando la possibilità di un urto con imbarcazioni di passaggio, le quali



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

inoltre hanno difficoltà ad individuarli data la loro limitata altezza sulla superficie del mare. Questi possono generare seri danni agli impianti di governo se non addirittura delle falle soprattutto per le piccole imbarcazioni. Le cause delle perdite in mare dei container sono da imputare a più fattori, il cattivo stato strutturale degli stessi, l'errato stivaggio e rizzaggi difettosi o inadatti, il tutto si aggrava in condizioni di mare agitato dove le accelerazioni nave inducono delle forze sui contenitori che possono portare al collasso di colonne di container e la loro conseguente perdita in mare. In questa sede è possibile valutare tale rischio attraverso le accelerazioni a cui sono soggetti in container in particolare le accelerazioni laterali e verticali utilizzate dal registro navale RINA (RINA 2020) per la verifica dei rizzaggi.

➤ **NAVI PETROLIERE**

Le navi petroliere presentano probabilmente meno problematiche delle altre categorie di imbarcazione. Tuttavia, la perdita di equilibrio dei membri dell'equipaggio con conseguente rischio di infortunio e perdita di concentrazione sulle operazioni di lavoro e la perdita di capacità di manovrabilità dovuta all'inefficienza degli impianti di governo a causa dei moti nave rimangono e i carichi strutturali a cui sono soggette date le dimensioni e gli alti rapporti di finezza possono generare situazioni critiche e produrre danni significativi alla struttura ed ai sistemi di governo. Pertanto, gli indici descrittivi di tali problematiche sono gli stessi presentati per la categoria delle navi da carico.



Soglie dei Indici di Sicurezza

Le soglie per gli indici sopra elencati sono forniti in letteratura, ma tali valori sono stati ottenuti da studi effettuati in zone di mare differenti da quella d'interesse (Area Pelagos) pertanto con condizioni meteo marine estreme e abituali differenti, inoltre possono avere obiettivi differenti, ad esempio si considerino le accelerazioni e i moti limite proposti dell'AICS (IACS 2020), i quali sono ottenuti per la verificare la robustezza strutturale in zone di mare ben più gravose come il nord Atlantico. Per ovviare a tale problema sono state ottenute le soglie limite attraverso un'analisi probabilistica basata sullo storico degli stati del mare.

Lo storico dello stato del mare dell'area Pelagos è stato messo a disposizione dal DICCA ed è basato sulla struttura WavewatchIII. Tale *database* suddivide i dati per un discreto numero di punti ben distribuiti sull'area come mostrato in figura (11) e fornisce altezza significativa, periodo medio e direzione del mare con un intervallo di un'ora degli ultimi 40 anni. Per ogni punto di interesse di tale area, ovvero per ogni punto che sia rappresentativo di una parte di una rotta, è stato ottenuto uno *scatter diagram* direzionale con intervalli da un metro per l'altezza significativa ed un secondo per il periodo medio. Le direzioni sono state divise in 8 settori, i quattro settori cardinali e gli intermedi. In seguito si riporta un esempio in figura (12) per un punto e una direzione.



Fig. 11 – Distribuzione dati storico nell'area Pelagos

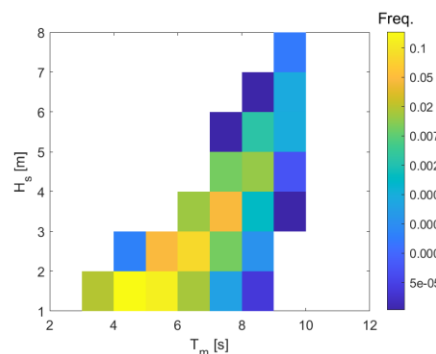


Fig. 12 – Scatter Diagram

Per ogni punto della rotta e combinazione di altezza significativa, periodo medio e direzione è stata valutata la risposta delle navi rappresentative di tale rotta, generando così uno storico sotto forma di *scatter diagram* per le risposte delle navi rappresentative e di conseguenza per gli indici sicurezza correlati, associando la probabilità di occorrenza dello stato di mare ai corrispettivi indici generati. Pertanto da questo è stato possibile generare delle distribuzioni di probabilità e le relative distribuzioni di probabilità cumulativa di cui si riporta un esempio in figura (13).

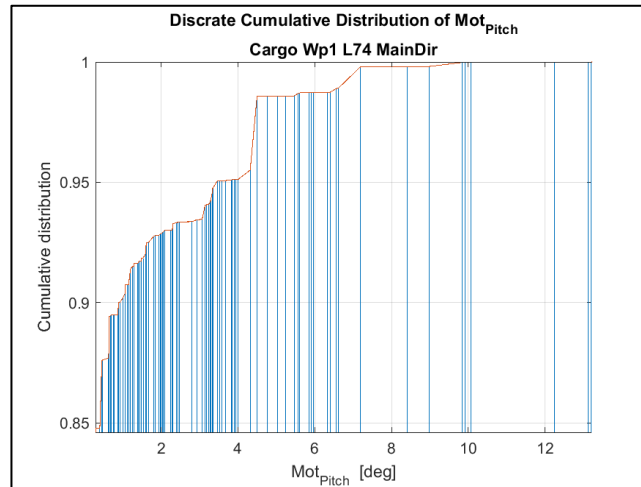


Fig. 13 –Probabilità cumulativa del moto di beccheggio per Cargo-WP1-L74-MainDir

Da tali distribuzioni di probabilità cumulativa è possibile definire delle soglie localizzate individuando come limite il 5 e il 10 percentile ed entrando nel grafico precedente con tali valori, ovvero 0.95 e 0.90 sull'asse verticale ottenendo dei valori dell'indice sull'asse orizzontale, i quali corrispondono a dei valori soglia indicati nel grafico in figura (14) come S1 e S2.

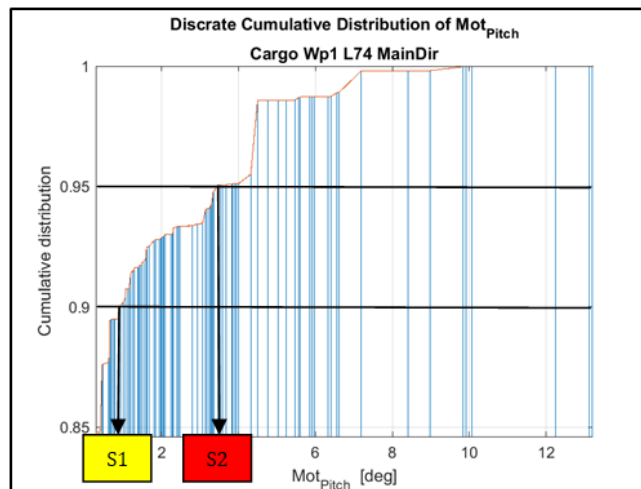


Fig. 14 –Soglie localizzate da 10 e 5 percentile per il moto di beccheggio del caso riportato in Fig. 13

Queste soglie localizzate in seguito sono state mediate su tutti i punti delle rotte distinguendo le categorie e le famiglie di navi rappresentative per ogni indice, ottenendo così per ogni famiglia di navi rappresentative un solo set di soglie.

In figura (15) si riportano i valori medi delle soglie derivate dal 10 percentile nel grafico di sinistra e 5 per il grafico di destra, per l'indice del moto di beccheggio per le navi da carico in funzione degli intervalli di lunghezza che caratterizzano le famiglie.

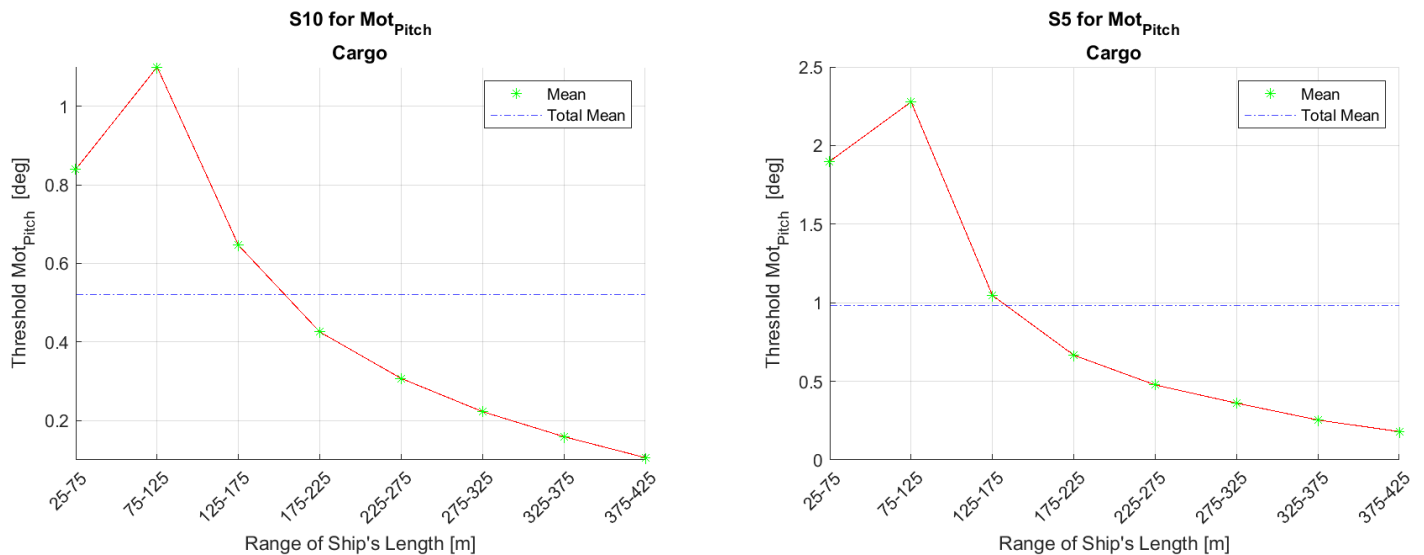


Fig. 15 – Medie delle soglie al 10 e 5 percentile per l'indice del moto di beccheggio di navi da carico.

Mappatura dinamica della pericolosità

Dall'analisi della risposta si ottengono i valori degli indici di sicurezza i quali una volta confrontati con le soglie precedentemente presentate risulterà in quale stato di sicurezza il caso in studio si trova ovvero, se l'indice sarà sotto la soglia minima (S1) sarà in stato "non pericoloso" identificato con il colore verde, se l'indice si troverà tra la soglia S1 e S2 sarà in stato di "pericolosità media" identificata con il colore giallo e se l'indice si sarà al disopra della soglia maggiore (S2) sarà in stato di "pericolosità alta" identificata dal colore rosso. Pertanto, si ottiene un certo stato di pericolosità per ogni punto della rotta, per ogni nave rappresentativa e ogni indice di pericolosità. Al fine di avere un unico dato rappresentativo si utilizza lo stato di pericolosità più gravoso tra quelli generati per i diversi indici, il che permette di riportare su una mappa per ogni famiglia di navi rappresentative lo stato di pericolosità associato per i diversi punti delle rotte.

Nel seguito in figura (16) si riporta un esempio per le navi passeggeri con lunghezza 150 m, per la direzione principale di percorrenza delle rotte per il giorno 2019/04/04 alle ore 03.00 per la zona nord dell'area Pelagos, da cui si evidenziano zone non pericolose e zone a media pericolosità. Per facilità di accesso alla mappa si riportano le rotte colorate secondo lo stato di pericolosità, a tale scopo è riportata la scala di sicurezza sul lato sinistro, inoltre si indica la direzione di percorrenza tramite una freccia bianca ad un'estremità delle rotte, sul bordo in alto una stringa riporta la categoria, la classe di lunghezza e la data, infine sullo sfondo si riportano con le frecce nere la direzione principale del mare e con il colore l'altezza dell'onda significativa quantificata con la scala riportata sul lato di destra.

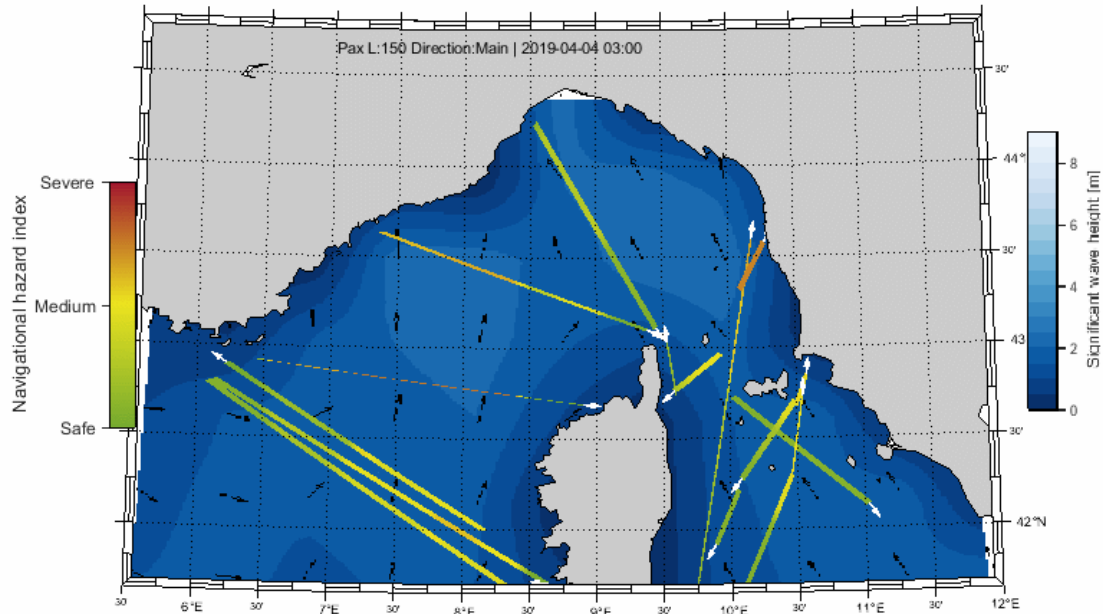


Fig. 16 – Mappa dinamica per navi passeggeri, L150 m, direzione principale, zona nord, data 2019/04/04

Di tali mappe ne vengono generate tante quanti sono gli stati del mare forniti dalla previsione meteomarina, ovvero per i 5 giorni seguenti con intervallo 3h.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Conclusioni

Il prodotto T.4.2.1 prevede la realizzazione di prodotti di mappatura dinamica del rischio per categorie di imbarcazione e di un servizio pilota di *weather routing* per il tracciamento di rotte sicure di grandi navi. Il presente documento riassume il lavoro svolto in risposta al prodotto di riferimento. In particolare, i seguenti componenti sono stati introdotti e descritti:

1. Metodo per l'identificazione delle rotte principali mediante analisi KDE dei dati AIS per ciascuna categoria di imbarcazione. L'analisi viene condotta manualmente su piattaforma GIS.
2. Algoritmo di analisi dei dati AIS per l'identificazione delle caratteristiche principali di ciascun segmento rotta e delle sue imbarcazioni rappresentative mediante strumenti statistici.
3. Metodo di caratterizzazione della tenuta al mare delle rotte identificate assumendo che le risposte medie delle navi di una rotta siano identificabili con le risposte delle navi rappresentative delle rotte stesse. Il calcolo degli operatori di risposta di tenuta al mare delle navi rappresentative viene effettuato utilizzando l'approccio della *strip theory* del codice open-source *PDstrip*.
4. Metodo di calcolo delle risposte al mare e caratterizzazione della pericolosità di navigazione per ciascuna rotta data una condizione meteomarina. Il metodo sfrutta la teoria dell'analisi spettrale e caratteristiche di comfort, strutturali e di stabilità a seconda della tipologia di imbarcazione considerata.
5. Metodo per l'identificazione delle soglie limite utili a valutare lo stato di pericolosità tramite gli indici di sicurezza.
6. Metodo di presentazione per la fruizione facilitata degli stati di sicurezza per la navigazione delle differenti categorie d'imbarcazione sulle principali rotte in funzione delle previsioni degli stati di mare.

Le procedure descritte sono state implementate in ambiente MySQL, QGis e Matlab. La metodologia utilizzata riesce ad individuare in modo relativamente semplice le rotte principali e le risposte medie ad un dato mare di ciascuna rotta per categoria di imbarcazione, secondo i requisiti del prodotto di riferimento. Gli algoritmi descritti sono infatti in grado di generare indici di pericolosità che possono essere utilizzati dalle autorità competenti nella limitazione preventiva dei rischi conseguenti alla navigazione in condizioni meteomarine avverse. La definizione di tali indici è stata basata su criteri di natura relativamente generica. L'architettura degli algoritmi descritti rende tuttavia possibile una loro modifica a seconda delle necessità dell'operatore.



Introduction

Dans le cadre de la composante T4 ("Services pour la sécurité en mer, la prévention des risques et la protection de l'environnement marin"), ce produit fait partie de l'activité T4.2, avec l'objectif global de générer des "applications et services pour la sécurité de toute navigation" (Sicomar Plus, 2018). Le produit T.4.2.1 prévoit la génération de "5 services de pilotage pour la fourniture de prévisions de dangers par catégorie de navires et de services de pilotage pour le *weather routing* de certaines catégories de navires" (Sicomar Plus, 2018), avec un intérêt particulier pour la zone marine protégée appelée "Pelagos" et communément appelée Sanctuaire de cétacés (Fig. 1).

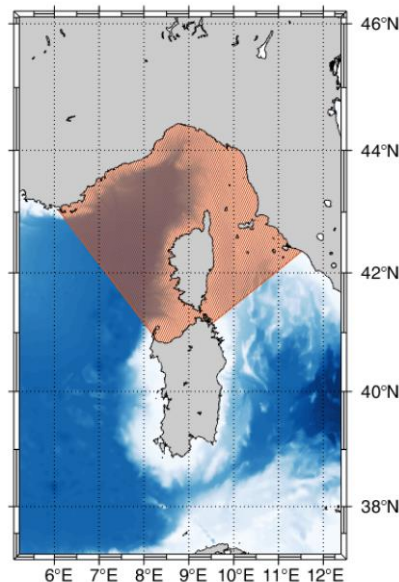


Fig. 1 – Le sanctuaire de cétacés "Pelagos" identifié par la zone surlignée en rouge.

Objectifs du produit (T.4.2.1)

Mise en œuvre de produits de cartographie dynamique des risques par catégories de navires et d'un service pilote de *weather routing* pour suivre les itinéraires sûrs des grands navires.

Partenaires impliqués

Les partenaires impliqués dans le produit T4.2.1 sont l'Université de Gênes (UniGe), le Comando Generale del Corpo delle Capitanerie di Porto – Guardia Costiera (COGECAP), le Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale per lo sviluppo sostenibile (LaMMA), le Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) et Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Ligure (ARPAL). Les activités de l'UniGe sont menées par les départements du génie civil, chimique et environnemental (DICCA) et des télécommunications, du génie électrique, électronique et naval (DITEN).



Interreg



SICOMAR
plus

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Prévision des risques de navigation

Les critères communément adoptés pour déterminer la navigabilité de certaines étendues de mer découlent dans la plupart des cas d'une observation/prévision pure de l'état de la mer, parfois empruntée à sa comparaison avec la taille et le type des navires concernés. En d'autres termes, les prévisions de danger pour la navigation sont faites sur la base de la cause du danger induit sur le navire. Une prévision plus précise peut être faite en basant les critères de danger sur les effets de l'état de la mer sur les navires concernés, c'est-à-dire en observant les conséquences d'un état de la mer donné sur un navire ou une classe de navires donnés, en évaluant sa "tenue en mer", c'est-à-dire son comportement sous l'action des vagues (études de la dynamique des navires plus communément et récemment appelées *seakeeping*).

La possibilité d'estimer plus précisément le danger pour la navigation pour une catégorie donnée de navires opérant sur une route devient, par conséquent, un aspect d'un intérêt considérable pour la planification des voyages de nombreuses catégories de navires, ainsi que pour l'émission d'avertissements météorologiques ciblés par l'autorité compétente. La chaîne d'information qui en résulterait aurait d'importantes répercussions sur la réduction/prévention des accidents en mer et des pertes de vies humaines et des menaces environnementales qui en découlent.

La méthode proposée dans ce projet comprend six phases principales:

1. Identification de la densité du trafic maritime le long des principales routes de la zone d'intérêt, ventilée par grandes catégories de navires, avec un accent particulier sur les grands navires;
2. Caractérisation de la navigabilité des routes identifiées ci-dessus;
3. Acquisition de prévisions des conditions météorologiques maritimes;
4. Identification des seuils de l'indice de sécurité;
5. Calcul des réponses en mer pour chaque route et de leurs indices de sécurité;
6. Génération d'une cartographie dynamique des aléas facilement accessible.

Les routes d'intérêt sont analysées grâce à une analyse statistique des données de navigation statiques et dynamiques transmises par le système d'identification automatique (AIS) à bord, acquises et gérées par la Garde côtière italienne par l'intermédiaire de son système national de gestion AIS. L'analyse permet d'identifier les itinéraires, traversant les zones d'intérêt, sous réserve d'une plus grande densité de trafic par catégorie de bateau. Dans la phase suivante, la caractérisation de l'étanchéité des routes est effectuée, en supposant que, pour une catégorie donnée de navires, chaque route peut être généralisée par un ou plusieurs navires représentatifs, identifiés comme étant les types de navires qui empruntent le plus fréquemment la route. En identifiant la tenue en mer de ces navires représentatifs, la route elle-même serait caractérisée. En utilisant les modèles météorologiques haute-fidélité mis en œuvre par UniGe, CNR, Arpal et LaMMA, il est alors possible de calculer les effets de la mer sur chacun des navires représentatifs analysés ci-dessus, ce qui permet de définir les effets des conditions météorologiques et de la mer sur chacune des routes identifiées dans la zone d'intérêt.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Données AIS

Le premier objectif du point T4.2.1 concerne l'identification des principales routes de navigation dans la zone d'intérêt pour les catégories de navires les plus pertinentes. Conformément à la classification des données AIS (ITU-R M.1371-5), les trois classes de navires suivantes ont été sélectionnées pour l'analyse:

1. Les navires à (y compris les ferries, les navires rouliers et les navires de croisière);
2. Navires de charge (cargaisons en vrac, navires porte-conteneurs);
3. Pétroliers.

Chaque classe identifie les caractéristiques similaires des navires, avec une attention particulière aux proportions et aux formes de la coque. Cela permettra, par la suite, d'effectuer des analyses de tenue en mer sur des coques représentatives de l'ensemble de la classe.

Afin d'identifier les routes de navigation les plus importantes, pour chaque catégorie de navire, une analyse des données émises par le système de Automatic Identification System (AIS) est effectuée. L'A.I.S. est un système coopératif qui permet l'échange continu et mutuel d'informations entre navires (ship to ship), ou entre navires et stations côtières (ship to shore), basé sur la technologie radio (bande VHF/FM) du service de radio maritime par l'utilisation de deux canaux dédiés, où la couverture radio nécessaire est garantie. L'AIS est un système de bord conçu pour la transmission de données statiques (nom, identifiant international, MMSI, taille du navire, type de navire et de cargaison, propulsion, etc.) et de données dynamiques, c'est-à-dire relatives à l'état de navigation du navire sur lequel il est installé (cap réel, vitesse réelle, heure estimée d'arrivée et de départ, etc. Le système A.I.S. est obligatoire pour les navires à passagers (quelles que soient leurs dimensions), pour les navires autres que les navires à passagers d'une jauge brute égale ou supérieure à 300 effectuant des voyages internationaux et pour tous les navires marchands d'une jauge brute égale ou supérieure à 500 n'effectuant pas de voyages internationaux et faisant escale dans un port d'un État membre, conformément aux normes techniques et de performance prévues au chapitre V de la convention SOLAS. Le système AIS est également obligatoire pour les navires de pêche d'une longueur hors tout supérieure à 15 mètres. Le A.I.S. répond aux règles de fonctionnement définies par l'IMO (International Maritime Organization) et a été introduit suite à la publication de la directive communautaire 2002/59/CE du Parlement européen et du Conseil, relative à la mise en place d'un système communautaire de suivi et d'information sur le trafic des navires, transposée et mise en œuvre en Italie par le décret législatif 196/2005, tel que mis à jour et modifié par le décret législatif 18/2011, par le décret du ministère des infrastructures et des transports 23/07/2012 et par le décret législatif 4/2016.

L'A.I.S., en particulier, est l'un des éléments constitutifs du VTMIS national - système intégré de suivi, de contrôle et de gestion du trafic maritime et des urgences en mer - créé et géré exclusivement par le Ministère des Infrastructures et des Transports - Commandement général du Corps des Capitaines de port / Garde côtière en tant qu'Administration compétente pour l'Italie, également pour l'échange d'informations acquises avec les autres Etats de l'Union européenne et plus généralement au niveau



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

international. Dans ce contexte, le S.I.A. constitue une source d'information supplémentaire et complémentaire par rapport à celle fournie par les autres systèmes de navigation, de surveillance et d'enregistrement des données du voyage (radar-VTS, satellite-LRIT, VDR) et, par conséquent, un "outil" important pour améliorer la connaissance de la situation du trafic maritime par les utilisateurs à des fins liées à la sécurité et à l'efficacité de la navigation, à la sauvegarde de la vie humaine en mer et à la protection de l'écosystème marin.

L'objectif du système A.I.S. est donc d'aider les opérateurs maritimes à identifier les navires et les marchandises transportées, à tracer les itinéraires correspondants, à mener des opérations de recherche et de sauvetage, à assurer le quart du personnel à bord (c'est-à-dire en service dans un poste de surveillance maritime côtier) ainsi que de simplifier et d'optimiser l'échange d'informations (en favorisant l'envoi de données sous forme numérique plutôt que les communications verbales obligatoires de la part du navire, qui sont souvent peu intelligibles ou qui se prêtent facilement à des malentendus et à des interprétations erronées), et enfin d'améliorer la connaissance de la situation du trafic maritime et du contexte dans lequel il se déroule ("*maritime picture awareness*").

Les informations statiques et relatives au voyage du SIA sont transmises toutes les 6 minutes ou sur demande (*polling*). Les informations dynamiques, en revanche, sont envoyées avec une fréquence qui varie selon le type de transpondeur (l'appareil émetteur-récepteur à bord) et selon la vitesse du navire et le fait qu'il soit ou non en train de se ranger : pour un transpondeur de classe A (qui est celui installé à bord des navires concernés, les transpondeurs de classe B n'étant utilisés qu'à bord des bateaux de plaisance), elle va de 2 secondes au minimum pour les vitesses supérieures à 23 nœuds au moment du ranger, à 3 minutes au maximum pour les navires au mouillage, amarrés ou ayant une vitesse inférieure ou égale à 3 nœuds.

Dans ce cas, les données AIS sont utilisées pour identifier les zones à plus forte densité de trafic maritime et, par conséquent, les principales routes à l'intérieur de la zone d'intérêt et leurs caractéristiques.

Dans ce projet, les données AIS sont fournies à l'UniGe par les garde-côtes italiens sous la forme de chaînes de texte déjà traitées pour une analyse ultérieure. Pour une meilleure accessibilité, les données sont stockées dans une base de données gérée par le serveur MySQL et, afin d'améliorer encore leur qualité et de les rendre plus utilisables et traitables, certaines fonctions simples en langage SQL sont encore mises en œuvre. La plupart des données "non validées" proviennent de la corruption du message AIS lors de la transmission ou de la réception ; par conséquent, le décodage du message produit des valeurs incorrectes et, pour certains champs, clairement incongrues. Cela permet d'établir des filtres qualitatifs qui ne permettent d'extraire de la base de données que des données correctes. De plus, un filtre basé sur la vitesse des navires est mis en place afin d'analyser les données AIS transmises uniquement par les navires en mouvement (vitesse supérieure à 3 nœuds). L'analyse des données AIS est effectuée selon une approche "quadrillée", selon laquelle la zone d'intérêt est subdivisée en cellules de taille prédéfinie caractérisées par une information particulière, dans ce cas liée au trafic maritime.



La procédure adoptée peut être résumée comme suit:

1. Étude de la répartition de la densité des messages AIS;
2. Identification et isolement des zones de transit soumises à une densité de trafic accrue par l'identification appropriée d'un seuil de densité;
3. Extraction des données AIS contenues dans ces domaines.

L'ensemble du processus est réalisé à software GIS freeware QGIS. La distribution de la densité est évaluée à l'aide de l'estimation de la Kernel Density Estimation (KDE) sur une grille géo référencée avec des cellules de la même taille que la longueur d'un petit ou moyen récipient générique (100 m). KDE estime essentiellement la contribution d'une donnée par rapport à un point en fonction de leur distance mutuelle et de la fonction de Kernel choisie. Ce projet utilise la fonction du Kernel d'Epanechnikov en raison de ses propriétés d'interpolation (Fig. 2). La valeur seuil (minimale) pour l'identification des zones à fort trafic maritime est définie à environ un dixième de la valeur de densité maximale, qui à son tour est déterminée comme la densité maximale trouvée aux points de séparation des routes. Une fois que les principaux itinéraires ont été identifiés, les données AIS qu'ils contiennent sont exportées pour être analysées dans l'environnement Matlab. Pour les besoins de l'analyse, les itinéraires sont définis comme des segments droits commençant et se terminant au confluent de plusieurs segments (Fig. 3). Les codes de route sont ici attribués à partir de la position géographique du centre géométrique du segment lui-même en degrés décimaux jusqu'à la deuxième décimale suivant le schéma R_<longitude>.<latitude>.

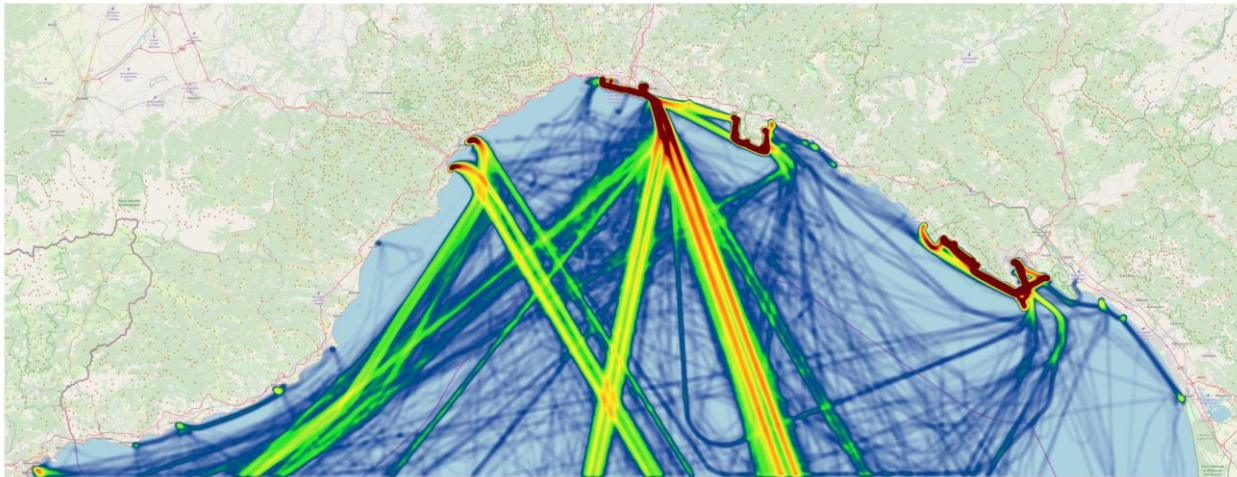


Fig. 2 – KDE des routes de passagers dans la mer Tyrrhénienne du Nord.

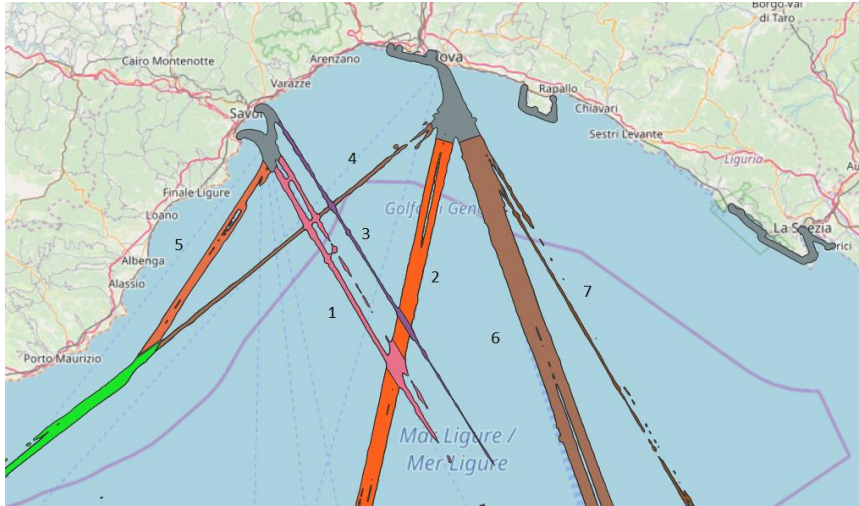


Fig. 3 – Segments de routes de passagers identifiés par le seuil de densité appliqué au KDE:

- 1 . R_897.4369
- 2 . R_871.4348
- 3 . R_896.4382
- 4 . R_865.4413
- 5 . R_837.4405
- 6 . R_931.4366
- 7 . R_950.4368

Analyse des principaux itinéraires de navigation

L'analyse des itinéraires identifiés dans le paragraphe précédent a un double objectif:

- 1. Observez les caractéristiques générales de l'itinéraire;
- 2. Identifier les navires représentatifs de la route.

Dans un premier temps, une analyse des directions des itinéraires est effectuée sur la base de l'étude statistique du champ COG (Course Over Ground) des données AIS. Un modèle de mélange de distribution gaussien est utilisé pour identifier les directions dominantes de la route et pour exclure de l'analyse les données transmises par tout navire qui la traverse (Fig. 4).

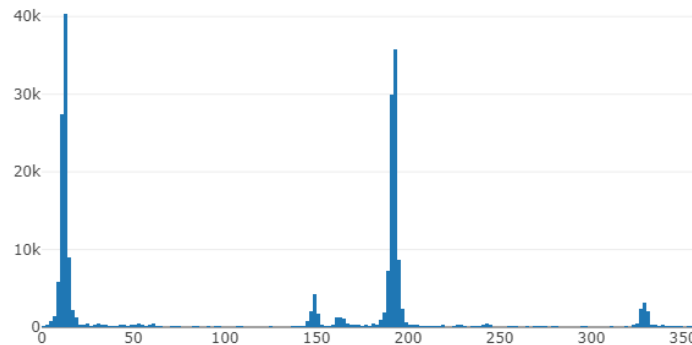


Fig. 4 – Répartition des angles de proue le long de la route R_871.4348 (partie de la route Gênes-Porto Torres).

La distribution transversale de l'itinéraire est ensuite estimée comme étant la distance des différents messages AIS par rapport au point médian de l'itinéraire, calculée selon la méthode des moindres



carrés, ce qui permet de déterminer la largeur et de valider le choix du seuil de densité minimale décrit dans la section précédente (Fig. 5). Pour une image plus complète, une étude statistique de la répartition des vitesses des navires sur chaque route est également réalisée.

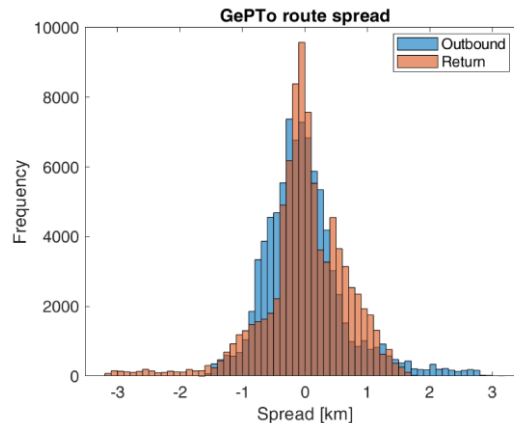


Fig. 5 – Distribution transversale route R_871.4348.

Deuxièmement, il est nécessaire d'établir une méthode pour mesurer la navigabilité de chaque route. En partant de l'hypothèse que les caractéristiques d'une classe de navires ne varient pas excessivement sur une route donnée, la réponse à une condition météorologique donnée sur cette route peut être généralisée en étudiant la réponse d'un ou plusieurs navires représentatifs. La sélection d'un navire représentatif est effectuée en tenant compte des caractéristiques du navire qui influent le plus sur la navigabilité et qui peuvent être obtenues en même temps à partir des données de l'AIS. La théorie de référence (Bhattacharyya, 1978 ; Lloyd, 1989) identifie dans la longueur une des principales caractéristiques qui influencent la navigabilité et est extractible des données AIS (ITU-R, 2014). En effectuant une analyse statistique de la répartition des longueurs qui caractérise les navires, il est donc possible de déterminer quelle "famille" de coques navigue le plus fréquemment sur un itinéraire donné. La répartition de la longueur des navires peut être évaluée:

- a) Pour tous les navires passant sur une route donnée, prise une seule fois;
- b) Pour l'ensemble des données AIS, c'est-à-dire les navires passant sur une route donnée, pondérées par le nombre de messages AIS reçus de chaque navire.

La seconde méthode permet d'estimer les longueurs de navires les plus fréquentes sur un itinéraire donné, elle est donc également mieux adaptée pour le caractériser.

Les navires sont divisés en familles de coques selon la classe de longueur, c'est-à-dire selon la gamme de longueur à laquelle ils appartiennent, ces gammes ayant une largeur de 50 m. Au sein de chaque famille, un seul navire est identifié pour représenter la gamme de longueur, et les données sur les principales dimensions, la vitesse moyenne en mer et l'identification du navire sont enregistrées. Il convient de noter que sur un itinéraire donné, une famille de coques peut être nettement plus probable que les autres, mais des cas avec une distribution de probabilité multimodale peuvent



également se produire. Il a donc été déterminé qu'une famille de coques est suffisamment représentative d'un itinéraire si la probabilité associée est supérieure à la moitié de la probabilité la plus élevée de toutes les familles. L'algorithme identifie donc certaines routes avec plus d'une famille de navires représentatifs. Les informations tirées de l'analyse des itinéraires présentée dans cette section sont stockées dans deux tableaux récapitulatifs, dont deux exemples sont présentés dans le tableau 1 et 2.

Code de route	Dispersion	Vitesse moyenne [Knts]	S.D. Vitesse [Knts]	Direction principale	Autre direction	Nombre de WP
R_837.4405	2,04	19,1	8,7	214,3	41,5	4
R_865.4413	1,29	15,1	6,7	51,0	201,3	6
R_871.4348	4,06	19,2	3,9	16,1	196,5	20
R_896.4382	0,54	17,9	5,5	327,7	146,0	11
R_897.4369	2,37	14,4	7,8	143,6	329,1	14
R_931.4366	2,73	21,2	5,2	160,3	339,2	14
R_950.4368	1,36	18,6	6,0	149,5	230,6	1

Tableau 1 – Tableau récapitulatif des caractéristiques des itinéraires identifiés dans Fig. 3.

Code de route	Nom du navire	Code du navire	L/B	L [m]	Vitesse moyenne [Knts]
R_837.4405	CRUISE SMERALDA	247343200	7,7	200	20,6
R_837.4405	COSTA DIADEMA	247353700	6,1	304	14
R_865.4413	MSC MERAVIGLIA	249973000	6,1	316	14,5
R_871.4348	SHARDEN	247130700	8,2	214	19,2
R_896.4382	COSTA DIADEMA	247353700	6,1	304	17,7
R_897.4369	MEGA EXPRESS TWO	247036100	7,1	170	13,8
R_897.4369	MEGA EXPRESS	247013400	7,0	176	13,2
R_931.4366	EXCELSIOR	247351100	7,0	202	22,1
R_950.4368	MSC MERAVIGLIA	249973000	6,1	316	19

Tableau 2 – Tableau récapitulatif des caractéristiques des navires représentatifs.

Caractéristiques de navigabilité des navires représentatifs

La navigabilité d'un navire est comprise comme le comportement, c'est-à-dire les mouvements, du navire dans une mer qui n'est pas calme. L'étude des motions est motivée par des raisons dynamiques, structurelles, fonctionnelles et de travail. Les mouvements auxquels un navire est soumis en état de mer posent des problèmes importants à sa stabilité, introduisant ainsi le risque d'abordage et de chavirement. En même temps, les charges dynamiques induites peuvent causer des



Interreg



SICOMAR
plus

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

dommages structurels importants, y compris la perte de charge, la déformation structurelle, jusqu'à la rupture et le naufrage du navire. Les déplacements et les accélérations qui sont générés à bord peuvent également gêner ou empêcher complètement les opérations de travail à bord, en partie pour des raisons techniques ou instrumentales, en partie à cause de la gêne qu'elles causent à l'équipage. L'état de navigabilité d'un navire peut être estimé au moyen d'expériences en bassin, de méthodes analytiques et de méthodes numériques. L'utilisation de méthodes numériques ou d'expériences avancées (par exemple les solveurs RANSE) donne généralement les résultats les plus précis, après un investissement considérable en temps et en ressources. Comme le problème des mouvements des navires est principalement lié à des phénomènes potentiels et non visqueux, il existe des méthodes analytiques et numériques qui, bien que basées sur des hypothèses différentes, sont capables de produire des estimations suffisamment précises.

Parmi ceux-ci, la *strip theory* repose sur l'hypothèse que le problème tridimensionnel des mouvements des navires peut être décomposé en un assez grand nombre de problèmes bidimensionnels en divisant la coque en bandes, c'est-à-dire en sections transversales de la coque, n'ayant aucune interaction entre elles. Dans la formulation originale, la contribution de chaque bande au mouvement total du navire, considérée comme un pur résultat des forces potentielles, est intégrée sur la longueur de la coque (Korvin-Kroukovsky & Jacobs, 1957). Certaines formulations de la *strip theory* permettent également l'inclusion de matrices d'amortissement visqueuses qui permettent une meilleure estimation des mouvements de roulis (par exemple (Fathi & Hoff, 2016)). En général, la *strip theory* a connu un grand succès grâce aux résultats qui, dans de nombreux cas, se rapprochent des méthodes tridimensionnelles et des expériences en bassin. Ce projet utilise une formulation de la *strip theory* dans la méthode proposée par Söding (Söding, 1969, 1993) et mise en œuvre dans le programme du domaine public PDSTRIP (Söding, 2006). Le programme étant relativement bien connu, il existe plusieurs études dans la littérature comparant ses résultats avec des expériences et d'autres calculs d'étanchéité à la mer, par exemple (Gourlay et al., 2015). Le PDSTRIP est utilisé pour calculer l'étanchéité à la mer de chaque coque représentative pour chaque route dans des vagues régulières (sinusoïdales). En supposant que, pour un type de navire donné, les formes de coque ne varient pas suffisamment pour entraîner des différences significatives de navigabilité, la méthode présentée ici définit la coque de chacun des navires représentatifs définis précédemment à partir d'une coque mère dont l'affinité est mise à l'échelle de temps en temps (Fig. 7). Les principaux apports du programme sont donc résumés comme suit:

1. Géométrie de la coque (coque mère);
2. Longueur, largeur et immersion (coque mère);
3. Déplacement (coque mère);
4. Coordonnées du centre de gravité (coque mère);
5. Nombre, taille et centre de chaque gouvernail et de tout autre appendice (coque mère);
6. Facteurs d'échelle calculés comme des rapports entre les longueurs, largeurs et tirants d'eau de la coque mère et de chaque navire représentatif;
7. Vitesse du navire représentatif.



Interreg



SICOMAR plus

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

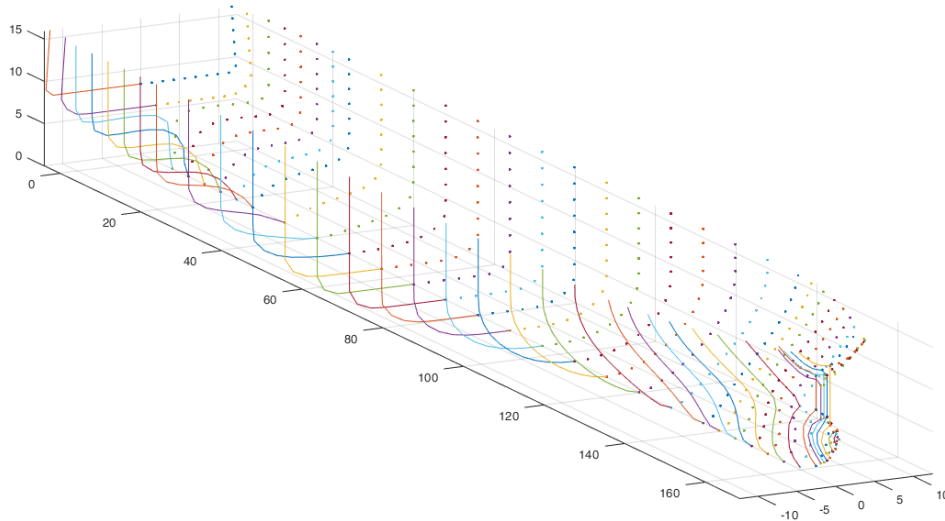


Fig. 6 – Géométrie d'entrée de la coque mère pour les navires à passagers.

Les opérateurs de réponse (RAO) sont essentiellement des fonctions de transfert qui mettent en relation l'excitation et la réponse d'un système dans le domaine des fréquences. Les RAO des mouvements, accélérations et phases de chacune des coques représentatives sont calculées pour chacun des six degrés de liberté (croisière, dérive, frémissement, roulis, tangage et lacet) pour des angles de rencontre allant de 0° (mer arrière) à 180° (mer avant) avec des intervalles de 15°. Les angles RAO de 180° à 360° sont clairement les mêmes que la plage 0°-180°. Les longueurs d'onde régulières auxquelles les simulations doivent être effectuées sont définies en fonction de la longueur du vaisseau de manière à obtenir une plus grande résolution autour des fréquences de résonance du vaisseau (rapport longueur d'onde/longueur du vaisseau proche de l'unité) et à réduire la charge de calcul pour les très grandes (plus de trois fois la longueur du vaisseau) ou relativement petites (moins d'un tiers de la longueur du vaisseau) longueurs d'onde. Les Fig. 7, 8 et 9 montrent les opérateurs de réponse au frémissement et au tangage d'un des navires représentatifs décrits dans le tableau 2, d'une longueur de 202 m et d'une vitesse moyenne de 22.1kn.

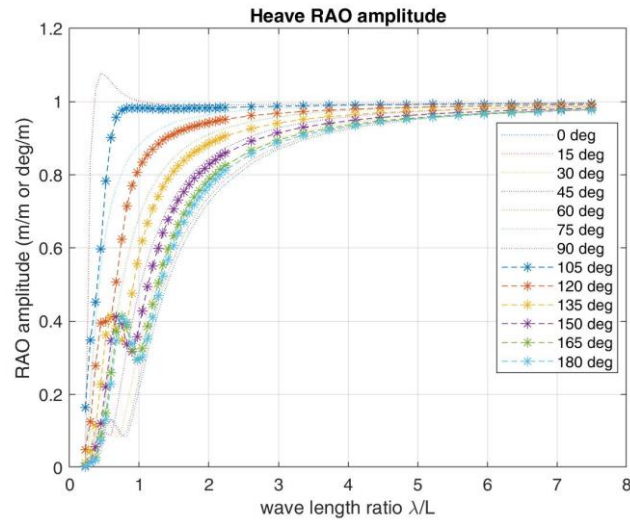


Fig. 7 – Opérateurs de réponse au frémissement pour le navire représentatif avec L=202 [m].

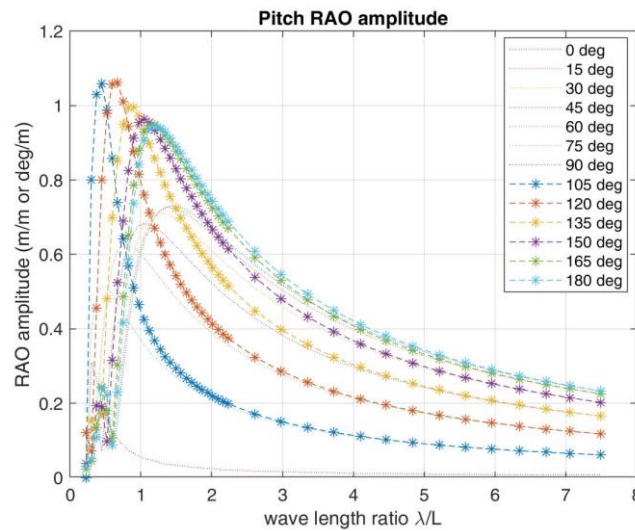


Fig. 8 – Opérateurs de réponse au tangage pour le navire représentatif avec L=202 [m].

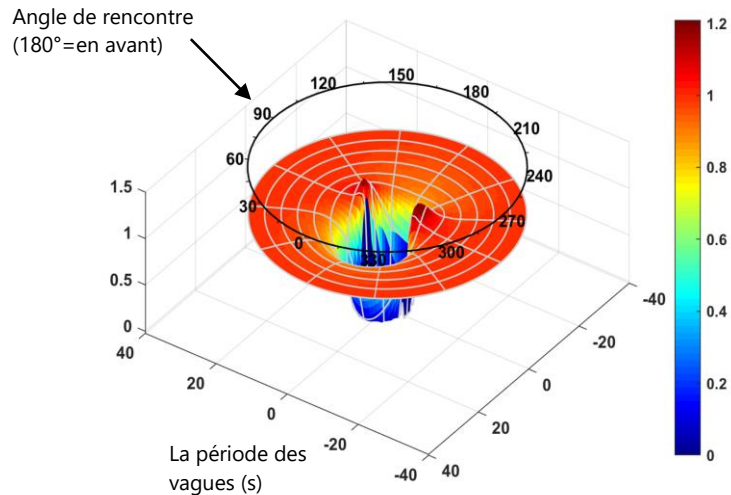


Fig. 9 – Les opérateurs de réponse illustrés à la figure 8 sont représentés sous forme tridimensionnelle.

Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques pour lesquelles l'analyse est effectuée sont calculées par le modèle météorologique Wave Watch III dans la révision mise en œuvre par le Département du génie civil, chimique et environnemental (DICCA) de l'UniGe. Le modèle fournit chaque jour, dans une grille spatiale d'une résolution de 20 km, les spectres de densité d'énergie des ondes directionnelles calculés toutes les trois heures pendant une période de cinq jours à partir de la date de prévision. La figure 10 montre une représentation du spectre d'onde directionnel calculé par le DICCA en un point de la grille, où la mesure angulaire représente l'angle d'origine du système d'onde, la mesure radiale représente la période de l'onde et la couleur la densité spectrale.

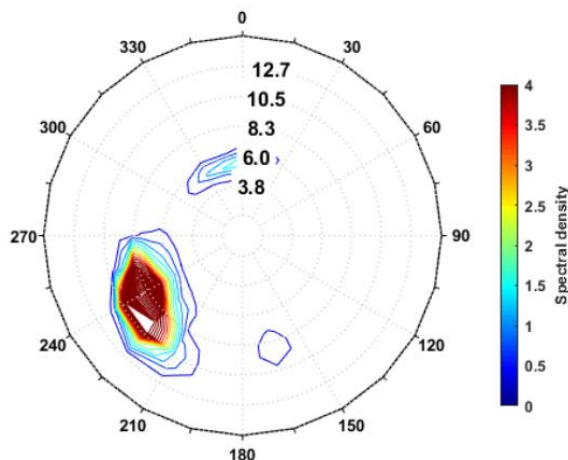


Fig. 10 – Spectres d'ondes directionnelles à l'extérieur du port de Gênes jusqu'au 4 avril 2019.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Analyse des réactions de la mer et indices de danger

Les opérateurs de réponse aux vagues réguliers calculés précédemment sont donc utilisés pour filtrer les spectres de vagues résultants, générant ainsi les spectres complets des mouvements, accélérations et phases du navire dans des mers irrégulières. Pour les besoins de l'étude présentée ici, il est nécessaire de définir, pour chaque catégorie de navire, des indices de danger qui permettent d'identifier les conditions météorologiques les plus risquées pour la navigation, ou des caractéristiques liées aux mouvements du navire qui affectent la sécurité de la navigation. Dans la méthodologie actuellement adoptée, un code à trois couleurs est utilisé pour identifier les états "non dangereux", "moyennement dangereux" et "très dangereux". Afin d'appliquer cette méthodologie, il est nécessaire de définir les seuils qui permettent d'identifier un statut dangereux en fonction du dépassement ou non de l'indice associé.

➤ NAVIERS A PASSAGERS

Compte tenu du type de cargaison transportée, la priorité des ferries, des bateaux et des navires de croisière (qui entrent tous dans la catégorie des navires à passagers) est de minimiser la gêne des passagers à bord ; dans ce cas, de réduire les symptômes et les effets du mal de mer. Toutefois, il faut garder à l'esprit que le mal de mer n'entraîne pas seulement une gêne, mais aussi une incapacité à remplir les fonctions à bord (ISO, 1997).

MSI

L'indice de *Motion Sickness Incidence* (MSI) (O'Hanlon & McCauley, 1974; ISO, 1997), a été conçu pour corréler les accélérations auxquelles le corps humain est soumis aux effets des malaises qu'elles produisent. En particulier, la MSI identifie le pourcentage moyen de personnes qui, exposées à des accélérations données pendant une période de deux heures, sont sujettes à des vomissements. La formulation dérivée des British Standards ISO 2631-1 (ISO, 1997), prévoit la dépendance de la MSI à l'intégrale de la valeur absolue de l'accélération mesurée et à la racine du temps d'exposition (2h).

MII

L'indice de *Motion Induced Interruption* (MII) (Graham, 1990; Crossland, 2000), a été étudié pour corréler les accélérations et les mouvements auxquels le corps humain est soumis aux effets de la perte d'équilibre qu'ils produisent. La méthode de Graham décrit le problème en le réduisant à la question de savoir si l'élan autour du pied du sujet le fait basculer ou non. Par conséquent, le niveau de risque doit être associé au nombre de fois que la perte d'équilibre (MII) se produit.

Il est supposé que lorsque ces indices sont inférieurs aux seuils associés, les questions de structure et de stabilité sont d'une importance secondaire.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

➤ NAVIRE DE CHARGE

Il existe différents problèmes pour la sécurité de la navigation, tels que la perte d'équilibre des membres d'équipage avec le risque de blessure et la perte de concentration sur les opérations de travail, la manutention de cargaisons en vrac à l'intérieur des cales avec les problèmes de stabilité qui en découlent, la perte de manœuvrabilité due à l'inefficacité des systèmes de pilotage en raison des mouvements du navire, ce qui entraîne un risque accru de perte, d'avarie de structure ou de dommages à la cargaison en raison de *Slamming*, de la présence d'eau sur le pont ou de mouvements et d'accélération excessifs, et enfin la perte de container en mer en raison de la rupture des lignes de gouverne due à une accélération excessive des container.

MII

En ce qui concerne la perte d'équilibre, le MII est utilisé comme pour les navires à passagers.

Mot

Les mouvements de roulis et de tangage du navire sont utilisés comme un indice étant donné leur influence sur la sécurité de la navigation, en fait limitée par la "common structural rules" (AICS 2020).

Acc

Les secousses, les accélérations en roulis et en tangage sont utilisées comme indice en raison de leur influence sur la sécurité de la navigation, qui est limitée par des "common structural rules" (AICS 2020).

PSlam

Dans certaines conditions de navigation, il est possible que le phénomène de *Slamming* se produise, c'est-à-dire que la proue s'échappe de l'eau et lors des collisions de redescente en surface générant une forte charge localisée, ce phénomène est prédit sous forme probabiliste (Ochi, M.K., 1964) en utilisant le mouvement vertical relatif par rapport à l'immersion dans la zone de proue et la vitesse verticale relative par rapport à la vitesse critique.

PGrWa

Dans certaines conditions de navigation, il est possible qu'il y ait de l'eau verte ou de l'eau sur le pont qui peut causer des dommages aux écoutes avec pour conséquence un problème d'invasion des cales ou de dommages à la cargaison sur le pont. Ce phénomène est prédit sous forme probabiliste (Lloyd, 1989) en utilisant le mouvement vertical relatif par rapport au franc-bord dans la zone avant.

PEP

Dans certaines conditions de navigation, il est possible que l'hélice sorte partiellement ou totalement de l'eau produisant une perte de poussée et donc de capacité de pilotage du navire, ce qui entraîne un risque accru d'accident maritime. Ce phénomène est également prévu sous forme probabiliste (Lloyd, 1989) en utilisant le mouvement vertical relatif dans la zone de l'hélice par rapport à l'immersion de l'hélice.

AcCo

Le problème de la perte de container en mer engendre des risques multiples tant pour l'environnement que pour la sécurité de la navigation, générant la possibilité d'une collision avec les



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

navires de passage, qui ont également des difficultés à les identifier en raison de leur hauteur limitée à la surface de la mer. Ceux-ci peuvent causer de graves dommages aux systèmes de direction ou même des fuites, en particulier pour les petits navires. Les causes des pertes de container en mer peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, le mauvais état structurel des container, l'arrimage incorrect et les arrimages défectueux ou inadaptés, tous aggravés dans des conditions de mer agitée où les accélérations des navires induisent des forces sur les container qui peuvent entraîner l'effondrement des colonnes de container et leur perte en mer. Ce risque peut être évalué ici au moyen des accélérations auxquelles ils sont soumis dans les container, en particulier les accélérations latérales et verticales utilisées par le registre des navires du RINA (RINA 2020) pour vérifier l'arrimage.

➤ PÉTROLIERS

Les pétroliers sont probablement moins problématiques que les autres catégories de navires. Toutefois, la perte d'équilibre des membres de l'équipage entraînant des blessures et une perte de concentration sur les opérations de travail et la perte de manœuvrabilité due à des systèmes de direction inefficaces en raison des mouvements du navire subsistent et les charges structurelles auxquelles ils sont soumis en raison de leur taille et de leurs rapports de finesse élevés peuvent générer des situations critiques et entraîner des dommages importants à la structure et aux systèmes de direction.

Par conséquent, les indices descriptifs de ces problèmes sont les mêmes que ceux présentés pour la catégorie des navires de charge.



Seuils de l'indice de sécurité

Les seuils des indices énumérés ci-dessus sont fournis dans la littérature, mais ces valeurs ont été obtenues à partir d'études menées dans des zones maritimes autres que celle qui nous intéresse (zone Pelagos) donc avec des conditions météorologiques marines extrêmes et habituelles différentes, et peuvent également avoir des objectifs différents, par exemple considérer les accélérations et les mouvements limites proposés par l'AICS (IACS 2020), qui sont obtenus pour vérifier la robustesse structurelle dans des zones maritimes beaucoup plus lourdes comme l'Atlantique Nord. Pour surmonter ce problème, des seuils limites ont été obtenus grâce à une analyse probabiliste basée sur les états historiques de la mer.

L'historien de l'état de la mer dans la zone de Pelagos a été mis à disposition par le DICCA et est basé sur la structure WaveWatch III. Cette *database* divise les données par un nombre important de points bien répartis sur la zone comme le montre la figure(11) et fournit la hauteur, la période moyenne et la direction de la mer avec un intervalle d'une heure des 40 dernières années. Pour chaque point d'intérêt dans cette zone, c'est-à-dire pour chaque point représentatif d'une partie d'un itinéraire, un *scatter diagram* directionnelle a été obtenu avec des intervalles d'un mètre pour la hauteur significative et d'une seconde pour la période moyenne. Les directions ont été divisées en 8 secteurs, les quatre secteurs cardinaux et les secteurs intermédiaires. Voici un exemple de la figure (12) pour un point et une direction.



Fig. 11 – Répartition des données historiques dans la zone Pelagos

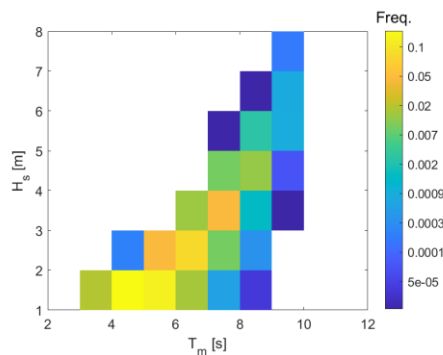


Fig. 12 – Scatter Diagram

Pour chaque point de la route et combinaison de hauteur significative, période moyenne et direction, la réponse des navires représentatifs sur cette route a été évaluée, générant ainsi un historique sous forme de *scatter diagram* pour les réponses des navires représentatifs et par conséquent pour les indices de sécurité correspondants, associant la probabilité d'occurrence de l'état de la mer avec les indices générés correspondants. Par conséquent, il a été possible de générer des distributions de



probabilités et les distributions de probabilités cumulées correspondantes, dont un exemple est présenté à la figure (13).

À partir de ces distributions de probabilité cumulée, il est possible de définir des seuils localisés en identifiant comme limite les 5 et 10 centiles et en entrant dans le graphique précédent avec ces valeurs, c'est-à-dire 0,95 et 0,90 sur l'axe vertical en obtenant des valeurs d'indice sur l'axe horizontal, qui correspondent aux valeurs de seuil indiquées dans le graphique de la figure (14) comme S1 et S2.

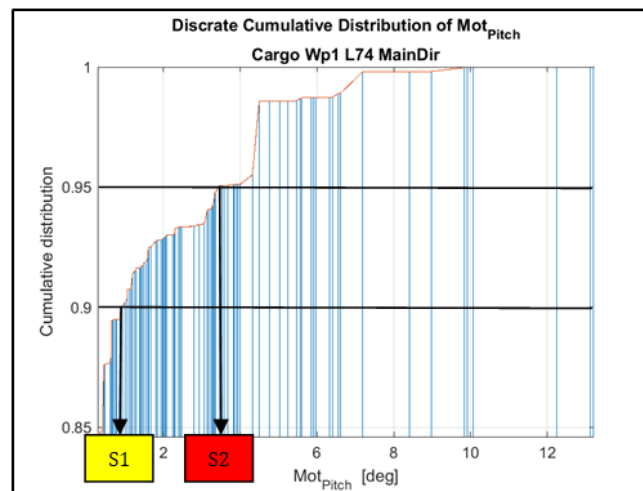


Fig. 14 – Seuils localisés de 10 et 5 percentiles pour le mouvement de tangage du cas montré dans la figure 13.

La moyenne de ces seuils a ensuite été calculée sur tous les points des routes en distinguant les catégories et familles de navires représentatives pour chaque indice, ce qui a permis d'obtenir une seule série de seuils pour chaque famille de navires représentative.

La figure(15) présente les valeurs moyennes des seuils dérivés du 10e centile dans le graphique de gauche et du 5e centile dans le graphique de droite, pour l'indice de mouvement du tangage des cargos en fonction des intervalles de longueur qui caractérisent les familles.

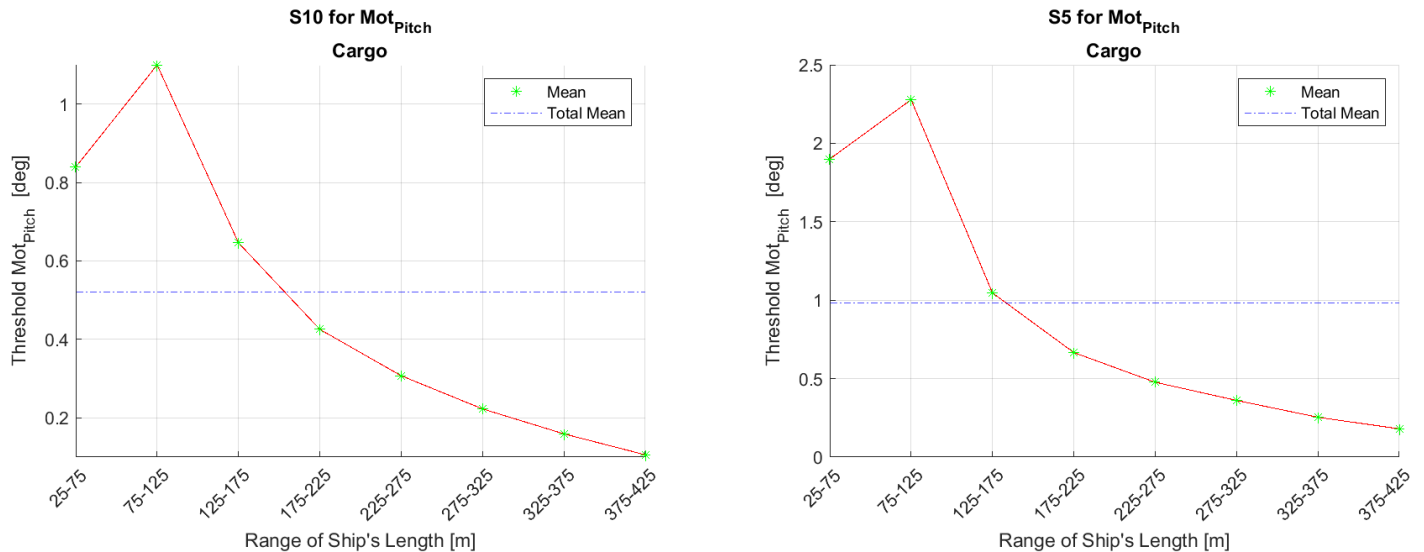


Fig. 15 – Moyenne des seuils à 10 et 5 percentiles pour l'indice de tangage des navires de charge.

Cartographie dynamique des aléas

L'analyse de la réponse permet d'obtenir les valeurs des indices de sécurité qui, une fois comparées aux seuils précédemment présentés, permettent de déterminer dans quel état de sécurité se trouve l'étude de cas, c'est-à-dire que si l'indice est inférieur au seuil minimal (S1), il se trouvera dans un état "non dangereux" identifié par la couleur verte, si l'indice est compris entre les seuils S1 et S2, il se trouvera dans un état "moyennement dangereux" identifié par la couleur jaune et si l'indice est supérieur au seuil le plus élevé (S2), il se trouvera dans un état "très dangereux" identifié par la couleur rouge. Par conséquent, un certain état de danger est obtenu pour chaque point de la route, pour chaque navire représentatif et pour chaque indice de danger. Afin de disposer d'une seule donnée représentative, on utilise l'état de danger le plus grave parmi ceux générés pour les différents indices, ce qui permet de reporter sur une carte pour chaque famille de navires représentatifs l'état de danger associé pour les différents points de route.

La figure suivante (16) montre un exemple pour les navires à passagers d'une longueur de 150 m, pour le sens principal de circulation des routes pour la journée 2019/04/04 à 03h00 pour la zone nord de la zone Pelagos, à partir de laquelle les zones non dangereuses et les zones moyennement dangereuses sont indiquées. Pour faciliter l'accès à la carte, les routes sont colorées en fonction de l'état du danger ; à cet effet, l'échelle de sécurité sur le côté gauche indique également la direction de la navigation au moyen d'une flèche blanche à une extrémité des routes ; sur le bord supérieur, une chaîne de texte indique la catégorie, la classe de longueur et la date ; enfin, à l'arrière-plan, des flèches noires indiquent la direction principale de la mer et la couleur indique la hauteur de la vague significative quantifiée à l'aide de l'échelle sur le côté droit.

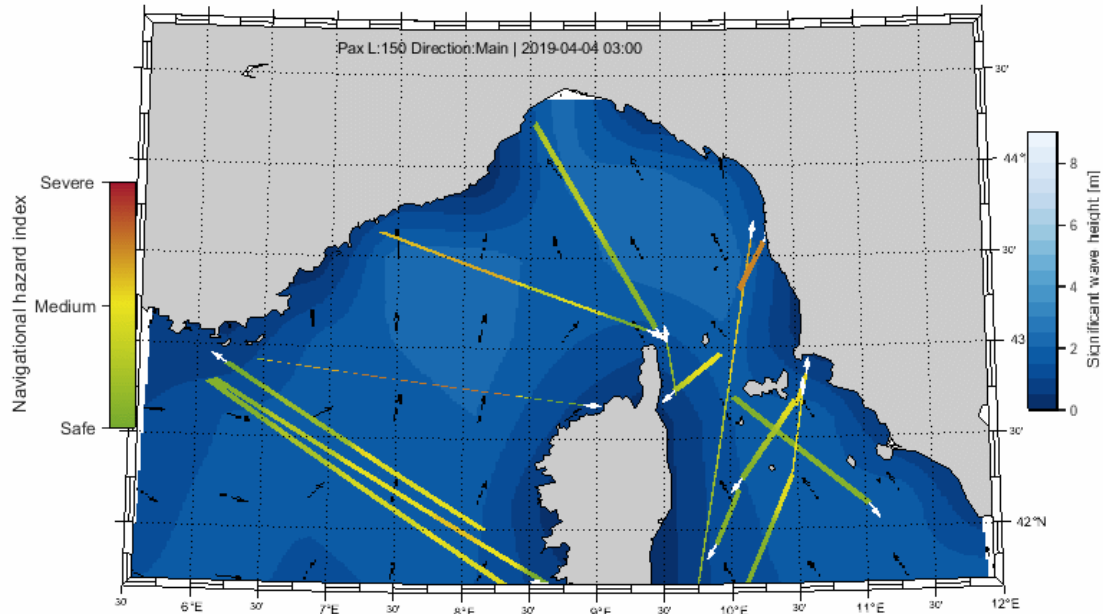


Fig. 16 – Carte dynamique pour les navires à passagers, L150 m, direction principale, vers le nord, date 2019/04/04

De ces cartes sont générées autant que les états de mer fournis par la prévision, c'est-à-dire pour les 5 jours suivants avec un intervalle de 3h.



Conclusions

Le produit T.4.2.1 prévoit l'élaboration de produits de cartographie dynamique des risques pour les catégories de navires et un service de *weather routing* pour le suivi des routes sûres des grands navires. Ce document résume le travail effectué en réponse au produit de référence. En particulier, les éléments suivants ont été introduits et décrits:

1. Méthode d'identification des routes principales par analyse KDE des données AIS pour chaque catégorie de navire. L'analyse est effectuée manuellement sur une plate-forme GIS.
2. Algorithme d'analyse des données AIS pour l'identification des principales caractéristiques de chaque segment de route et de ses navires représentatifs par des moyens statistiques.
3. Méthode de caractérisation de la navigabilité des routes identifiées en supposant que les réponses moyennes des navires sur une route sont identifiables avec les réponses des navires représentatifs des routes. Le calcul des opérateurs d'intervention en mer des navires représentatifs doit être effectué en utilisant l'approche par *strip theory* du code open-source *PDstrip*.
4. Méthode de calcul des réponses de la mer et de caractérisation du risque de navigation pour chaque route en fonction des conditions météorologiques. La méthode utilise la théorie de l'analyse spectrale et des caractéristiques de confort, de structure et de stabilité en fonction du type de navire considéré.
5. Méthode d'identification des seuils limites utiles pour évaluer l'état du danger à l'aide d'indices de sécurité.
6. Méthode de présentation pour l'utilisation facilitée des états de sécurité pour la navigation des différentes catégories de navires sur les routes principales en fonction des prévisions des états de mer.

Les procédures décrites ont été mises en œuvre dans le MySQL, QGis e Matlab. La méthodologie utilisée parvient à identifier de manière relativement simple les principales routes et les réponses moyennes à une mer donnée de chaque route par catégorie de navires, en fonction des exigences du produit de référence. Les algorithmes décrits sont en effet capables de générer des indices de danger qui peuvent être utilisés par les autorités compétentes dans la limitation préventive des risques résultant de la navigation dans des conditions météorologiques défavorables. La définition de ces indices a été basée sur des critères de nature relativement générique. Cependant, l'architecture des algorithmes décrits permet de les modifier en fonction des besoins de l'opérateur.



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT F R-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Bibliografia/ Bibliographie

Bhattacharyya, R. (1978) *Dynamics of marine vehicles*. Ocean engineering, a Wiley series. New York: Wiley.

Fathi, D.E. & Hoff, J.R. (2016) *ShipX Vessel Responses (VERES) - Theory Manual*.

Gourlay, T., von Graefe, A., Shigunov, V. & Lataire, E. (2015) 'Comparison of Aqwa, GL Rankine, Moses, Octopus, PDStrip and Wamit with model test results for cargo ship wave-induced motions in shallow water', in *Proc. of the 34th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE 2015)*. [Online]. 2015 St. John's, CA: . p.

IMO (2002) *SOLAS Chapter V: Safety of Navigation*. Regulation 19.

ISO (1997) *Evaluation of human exposure to whole-body vibration. General requirements*.

ITU-R (2014) *Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band*.

Korvin-Kroukovsky, B.V. & Jacobs, W.R. (1957) *Pitching and heaving motions of a ship in regular waves*.

Lloyd, A.R.J.M. (1989) *Seakeeping: ship behaviour in rough weather*. Ellis Horwood series in marine technology. Southampton, UK: E. Horwood ; Halsted Press.

O'Hanlon, J. & McCauley, M.E. (1974) *Motion Sickness Incidence as a function of vertical sinusoidal motion. Aerospace medicine*.

Crossland, P. &. (2000). *A method for deriving MII criteria*. London, UK. In Conference on Human Factors in Ship Design and Operation.

R Graham (1990). *Motion induced interruptions as ship operability criteria*. Naval Engineers Journal, Vol 102, No 2.

Ochi, M.K., (1964). *Prediction of occurrence and severity of ship slamming at sea*. Proceedings of the 5th Symposium on Naval Hydrodynamics, ONR, Bergen, Norway.

RINA (2020). Rules for the Classification of Ships Part B/F.

IACS (2020). Common structural rules for Bulk Carriers and Oil Tankers, International Association of Classification Societies



Interreg



UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Sicomar Plus (2018) *Sistema transfrontaliero per la sicurezza in mare Contro i rischi della navigazione e per la salvaguardia dell'ambiente MARino.*

Söding, H. (1993) A method for accurate force calculation in potential flow. *Ship Technology Research.* 40176–186.

Söding, H. (1969) Eine Modifikation der Streifenmethode. *Schiffstechnik.* 1615–18.

Söding, H. (2006) *Program PDSTRIP: Public Domain Strip Method.*