



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea Magistrale

Biologia marina

Relitti nel Mar Mediterraneo.

Mega-litter o Oasi di biodiversità?

Wrecks in the Mediterranean Sea.

Mega-litter or biodiversity Oasis?

Tesi di Laurea Magistrale
di: Aldo Podio

Relatore:
Chiar.mo Prof. Roberto Danovaro

Correlatore:
Dott. Ettore Nepote

Sessione febbraio
Anno Accademico 2023 2024

INDICE

RIASSUNTO.....	4
1 INTRODUZIONE	5
1.1 Relitti nel mar Mediterraneo	5
1.2 Relitti nel Mar Mediterraneo: stato dell'arte	7
1.3 Relitti come fattore di contaminazione e inquinamento	8
1.4 Relitti come aree marine protette	10
1.5 Obbiettivi della tesi.....	14
2. Materiali e metodi.....	14
2.1 Selezione della fonte dei dati	14
2.2 Criteri di inclusione ed esclusione dei dati.....	16
2.3 Organizzazione ed analisi dei dati raccolti.....	17
3. Risultati	22
3.1 Tonnellaggio	22
3.2 Classi dei relitti	24
3.3 Profondità.....	26
3.4 Habitat del fondale	28
3.5 Motivi dei naufragi	30
3.6 Anni dei naufragi.....	35
3.7 Cargo delle navi affondate	37
4. Discussioni	39
5. Conclusioni.....	45
Bibliografia	47

RIASSUNTO

Una grande quantità di navi è affondata nel Mar Mediterraneo nel corso degli anni, le cui conseguenze non sono ancora del tutto note. In questa tesi si è svolto un lavoro di datamining per avere una prima quantificazione sui relitti presenti nel Mar Mediterraneo in termini di tipologia, quantità, motivi dell'affondamento e informazioni sugli habitat coinvolti. Inoltre, è stata analizzata la bibliografia disponibile riguardante l'inquinamento e rischi derivanti dai relitti così come i loro potenziali effetti positivi in termini di biodiversità. È emerso come la maggior parte delle navi affondate appartiene alla categoria delle navi cargo ed i numeri più grandi di affondamenti si sono registrati durante le due guerre mondiali. Si è riscontrato per molti relitti una mancanza di dati riguardanti gli habitat del fondale, alla profondità e al cargo che questi trasportavano. Questa raccolta dati rappresenta un punto di partenza per la scelta di relitti da studiare in future ricerche, scegliendo i parametri desiderati ed escludendo quelli non utili. Diversi studi indicano quanto potenzialmente pericolose siano le conseguenze nel lungo termine della presenza di un relitto sull'ambiente, mentre altre ricerche sostengono come questi possano essere sfruttati a favore della salvaguardia della biodiversità. Inoltre, è emerso quanto sia importante aumentare gli sforzi nelle ricerche sui relitti in quanto soprattutto nel Mediterraneo gli studi sono scarsi soprattutto in ambienti marini profondi.

1 INTRODUZIONE

1.1 Relitti nel mar Mediterraneo

L'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO) ha definito un relitto come “una nave affondata o arenata o qualsiasi parte di una nave affondata o arenata, che, per varie ragioni (cedimento strutturale, incendio, spostamento del carico, collisione accidentale, affondamento, atti volontari di guerra o terrorismo), è parzialmente o totalmente sommersa dalle acque del mare” (Nairobi, 2007).

L'Assemblea Parlamentare del Consiglio d'Europa ha stimato come essi siano le maggiori fonti di inquinamento degli oceani (Assemblea parlamentare, Risoluzione n. 1869/2012).

Il Mar Mediterraneo è stato da sempre attraversato da una grande quantità di popoli per fini commerciali e guerre (Parker 1984). La sua posizione geografica centrale, la presenza del canale di Suez e l'importanza economica dei paesi europei lo rendono una rotta obbligatoria per evitare di circumnavigare il continente africano. Solo nel 2022 il Mar Mediterraneo è stato attraversato dal 20% del traffico marittimo di tutto il mondo, il 27% delle linee di transito dei container e il 30% dei flussi di petrolio e gas (Srm 2022; Galil 2002) (Figura 1).

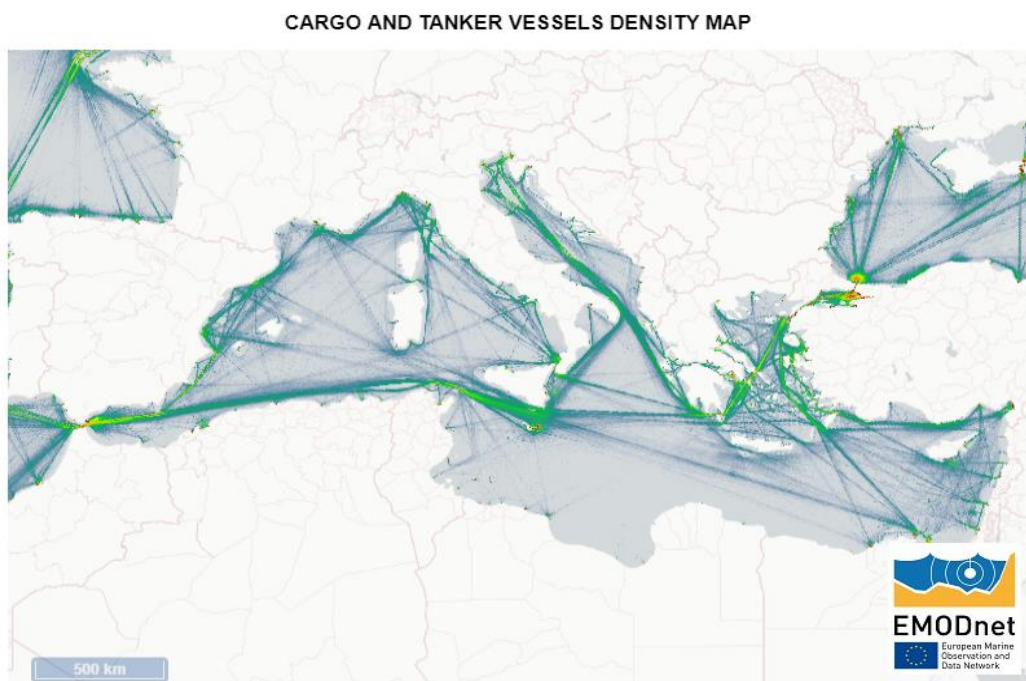
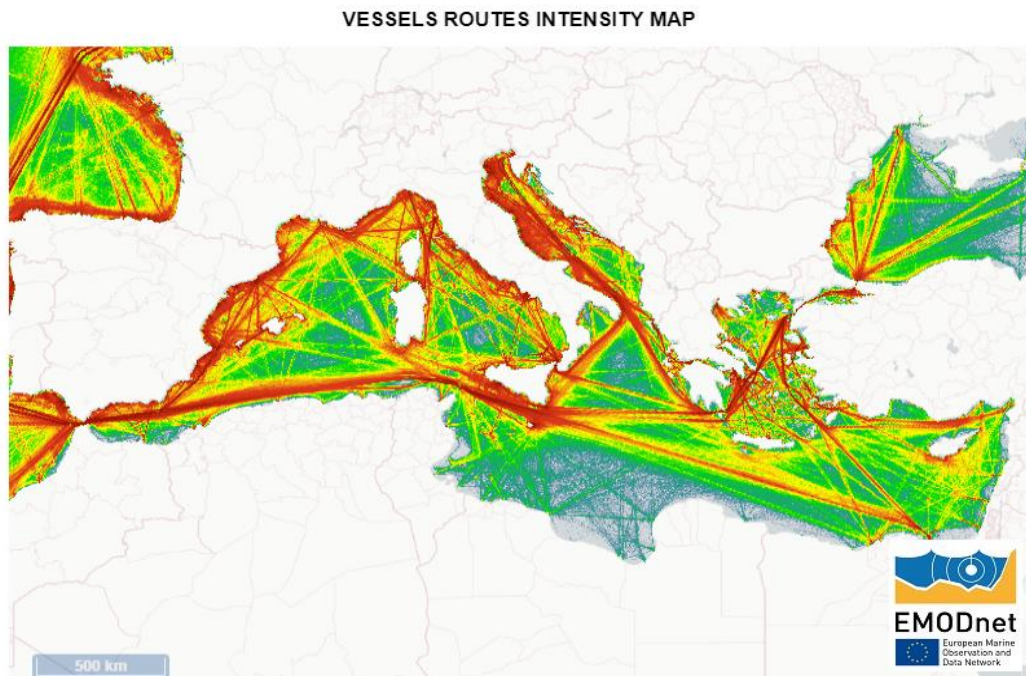


Figura 1. Intensità delle principali rotte marittime del Mediterraneo (Da European Marine Observation and Data Network).

Un traffico così intenso nel corso degli anni ha prodotto, per le più disparate ragioni, incidenti, collisioni, perdite di petrolio e affondamenti che hanno portato i fondali ad ospitare un elevato numero

di relitti e ad essere una delle regioni più inquinate da idrocarburi del mondo (Galil 2002). Le due grandi guerre mondiali hanno fatto aumentare bruscamente questo numero a causa delle molte azioni di guerra (Masetti e Orsini, 2009). Indicare il numero preciso di relitti ad oggi è impossibile, soprattutto se includiamo quelli di età greco-romana e di altre età antiche perché semplicemente mancano le fonti. Anche per i relitti più recenti non è facile fare una stima visto che molti potrebbero non essere riportati e le fonti più accreditabili restano i servizi idrografici nazionali che hanno il dovere di segnare e aggiornare sulle carte nautiche la posizione di relitti potenzialmente pericolosi per la navigazione (Masetti e Orsini, 2009). La convenzione di Barcellona vieta ai paesi che l'hanno firmata di affondare deliberatamente navi nel Mar Mediterraneo, di conseguenza con il tempo gli affondamenti sono diminuiti, probabilmente anche grazie all'avanzamento di tecniche e protocolli di sicurezza.

1.2 Relitti nel Mar Mediterraneo: stato dell'arte

Attualmente, la quasi totalità di relitti è ignorata, a meno che questi non abbiano un'importanza storica, turistica o se le conseguenze del loro naufragio non hanno portato conseguenze gravi in termini di vite umane o per le conseguenze ecologiche (Monfils et al., 2006). Un esempio è il disastro navale della Costa Concordia nel 2012 che è stato studiato al fine di contenerne i danni all'ambiente marino (Casoli et al., 2017; Avio et al., 2017; Mancini et al., 2019; Piazzini et al., 2020). Gli incidenti della Haven nel golfo di Genova della Agip Abruzzo nel porto di Livorno, entrambi avvenuti nel 1991, destarono preoccupazione e furono studiati per comprendere gli impatti degli idrocarburi nel lungo termine (Viarengo et al., 2007). Solo negli ultimi anni i relitti hanno iniziato ad attirare l'interesse della ricerca tra i potenziali effetti negativi e quelli positivi. Si è quindi iniziato a valutare se la presenza di relitti sul fondale possa avere effetti positivi sul reclutamento, protezione dalla pesca e come reef artificiali (Renzi et al., 2017)

1.3 Relitti come fattore di contaminazione e inquinamento

Quando una nave affonda porta a fondo con sé una serie di inquinanti, dal carburante che esce dal motore, ai metalli che compongono il suo scafo al cargo ed è molto difficile quantificare il danno che può generarsi, poiché ogni relitto con relativo cargo è unico e vanno considerate numerose variabili come il tempo trascorso dal naufragio, gli idrodinamismi, la grandezza della nave ed i materiali chimici che si trovavano a bordo (Lanquist et al., 2014). Le correnti marine invece possono spostare detriti e altri inquinanti per molte miglia e anche componenti più pesanti possono raggiungere luoghi distanti dopo anni (Teixeira et al., 2021). Nel Mediterraneo le conseguenze di un naufragio vicino alla costa possono mettere in pericolo habitat protetti quali ad esempio le praterie di *Posidonia oceanica* (Mancini et al., 2019), il coralligeno (Casoli et al., 2017) e i fondali Maërl (Renzi et al., 2017). Il rilascio di carburante nell'ambiente avviene in maniera più lenta e nel corso di decenni con effetti molto diversi da quando una grande quantità di idrocarburi viene rilasciata come dopo un incidente petrolifero o di una petroliera. Lo studio degli effetti di questo rilascio lento ma costante è molto più complesso anche perché inquinanti derivati da altre fonti possono falsare i dati mischiandosi a quelli del relitto (Rogowska et al., 2015). Il rilascio di metalli pesanti (i.e., Pb, Hg, Se, As, Cu, Zn, Cd) dallo scafo, dai componenti elettrici e dalla vernice antifouling possono danneggiare le comunità di coralli e causare cambiamenti ecologici e danni che possono metterci decenni prima che vengano ripristinate le condizioni precedenti (Van der Schyff et al., 2020) e se la concentrazione di relitti in una zona limitata diventa particolarmente alta si può far entrare nelle catene trofiche una grande quantità di metalli pesanti, tanto da diventare pericolosi per la salute umana (Nazrul et al., 2022). Un altro possibile pericolo è quello dell'aiutare diverse specie aliene a riprodursi molto più efficientemente, con i relitti che fornirebbero un supporto solido per la loro crescita aumentando così il reclutamento di specie

invasive (Killi et al., 2020; Soares et al., 2020). Nonostante il grande numero di relitti presenti negli ambienti marini costieri e profondi e i loro potenziali effetti negativi sull'ambiente, non ci sono sufficienti studi sulle conseguenze del loro impatto ambientale e la maggior parte delle navi affondate restano ignorate e non studiate dal punto di vista dei loro effetti ecologici (Monfils et al., 2006).

1.4 Relitti come aree marine protette

Le popolazioni ittiche e di mammiferi marini nel Mediterraneo sono in calo da anni a causa della sovrapesca, dell'inquinamento e per la degradazione degli habitat (Bearzi et al., 2006; Cheal et al., 2010; Fenner 2014). Si sta facendo strada l'ipotesi che i relitti possano aiutare nella protezione degli habitat marini profondi dalla pesca a traino e per il reclutamento di specie di interesse economico (Renzi et al., 2017). I relitti possono fornire un ambiente protetto per diverse specie ittiche e favorirne l'aggregazione (Sanchez-Caballero et al., 2021), inoltre i pescherecci non possono calare le reti vicino a ostacoli capaci di romperle, creando così zone dove la pesca è quantomeno difficile e rischiosa (Renzi et al., 2017) (Fig. 2).



Figura 2. Prua ricoperta di reti della nave cisterna Stimphalya. (Da Wrecksite.eu).



Figura 3. Dettagli dell'elica del relitto del sottomarino inglese HMS Perseus (N-36). (Da Wrecksite.eu).

I relitti appena affondati causano danni con il rilascio del carburante, del carico e spesso è la struttura stessa della nave a causare danni (Barret, 2011); ma quelli che si trovano sul fondo dopo un certo tempo possono favorire i microbiomi bentonici creando una zona di alta diversità per diverse comunità microbiche (Hamdam et al., 2021). Si è inoltre visto che alcuni relitti dopo diversi anni e consentendo agli ecosistemi di adeguarsi e riprendersi dagli inevitabili danni dell'affondamento, possono far aumentare la biodiversità delle popolazioni di coralli in termini di abbondanza e variabilità genetica, non solo per le comunità sopra il relitto ma anche per le popolazioni vicine, agendo da stepstones per diversi generi (Asner et al., 2022). I relitti potrebbero quindi svolgere il ruolo di artificial reefs (Fig. 4) e assumere una grande importanza ma bisogna considerare che la loro efficacia è strettamente correlata alle condizioni dell'area in cui la nave è affondata, poiché le diverse comunità di organismi sessili restano soggette ai diversi fattori ambientali. In particolare, i coralli sembrano essere fortemente influenzati dalla posizione del relitto in termini di verticalità e profondità e dalla distanza da altre comunità bentoniche (Jimenez et al., 2016). Tuttavia, l'usare relitti come reef artificiali non deve essere un sistema da prendere alla leggera, nemmeno nei casi in cui si parli più di turismo che di ecologia. Prima di effettuare qualsiasi azione concreta vanno condotti numerosi studi sull'ecologia e le reti trofiche degli ambienti interessati e bisogna tenere conto di molte caratteristiche del relitto (i.e. complessità della struttura, verticalità, rugosità) e dell'ambiente, in particolare le condizioni fisico-chimiche dell'area (Şensurat-Genç et al., 2022). Tentare di salvaguardare un ecosistema con un relitto potrebbe non portare ai risultati sperati poiché supportano comunità di pesci diversi dai reef naturali e portano a strutture trofiche molto diverse (Thiony et al., 2012). Le comunità degli organismi marini potrebbero rispondere alla presenza del relitto in maniere inaspettate, quale la diminuzione della beta

diversità o non mostrare nessun cambiamento strutturale rilevante anche dopo anni (Thiony et al., 2012; Medeiros et al., 2021).



Figura 4. Foto della nave passeggeri Francesco Crispi, affondata a 500 metri di profondità (Da Wrecksite.eu).

1.5 Obbiettivi della tesi

Gli obiettivi della tesi sono di fare una prima quantificazione dei relitti presenti nel Mar Mediterraneo ed effettuare una loro classificazione sulla base delle informazioni disponibili (es. tonnellaggio, tipologia di nave, profondità) e valutarne la pericolosità ambientale. Inoltre, attraverso uno studio bibliografico capire se e in quali condizioni essi possano dare un contributo agli ecosistemi agendo come habitat artificiali. La tesi vuole inoltre fornire una serie di dati nella speranza che questi possano aiutare la scelta di futuri obiettivi per nuove ricerche sui relitti e sulle strategie di gestione ambientale di aree interessate dall'affondamento di navi.

2. Materiali e metodi

2.1 Selezione della fonte dei dati

Il primo tentativo di datamining è iniziato con i relitti più noti, in termini di popolarità turistica e di importanza storica. Questo criterio che si è rivelato fallace sotto diversi punti di vista ha portato alla prima fonte. Il sito (relitti.it) conteneva informazioni di diversi relitti ma la maggior parte di queste erano nascoste dietro paywall e non è chiaro come sarebbero state fornite, visto che il sito è piuttosto vecchio e non sembra essere aggiornato frequentemente. La fonte è stata quindi abbandonata perché conteneva solo dati di interesse turistico, che tengono conto di quei relitti affondati in luoghi non troppo ostici da raggiungere e con strutture o comunità sessili esteticamente attraenti. Vengono quindi tendenzialmente ignorati quei relitti che si trovano a profondità superiori ai 70m o con strutture eccessivamente rovinate o in aree interdette al pubblico. Si sono provate fonti storiche ma le liste di relitti storici trovate in saggi e libri riportano solo i relitti affondati in certe decadi, solitamente della

Prima e Seconda guerra mondiale e ignorano quelli più recenti. Inoltre, alcune fonti considerano solo le navi di una certa nazionalità o indicano solo le navi da guerra o affondate in azioni di guerra, ma non contano le navi affondate per incidenti marittimi non legati ai contesti bellici. Si è quindi deciso di prendere come fonte principale le carte dei servizi oceanografici del Mar Mediterraneo, usando il sito (wrecksite.eu) che prende i dati dai Lloyd's Register Group Limited, della Lloyd register foundation. Questa organizzazione attiva dal 1760 ha raccolto i dati di migliaia di navi non solo del Mar Mediterraneo ma di tutto il mondo, consentendoci di creare una lista di relitti mantenendo i parametri scelti. Il sito wrecksite inoltre fornisce spesso informazioni aggiuntive sui carichi, i motivi dell'affondamento e arricchendo le informazioni con fonti giornalistiche e fotografiche. Il vantaggio di usare una fonte che include carte nautiche di vari servizi idrografici nazionali è che questi ci consentono di avere le coordinate della maggior parte dei relitti riportati. In conclusione, ad ogni relitto sono stati associati i dati della nazionalità, il tipo di nave (nave cargo, nave passeggeri, a vela, da guerra ecc.) le dimensioni espresse in lunghezza x larghezza x altezza, il tonnellaggio, la posizione in coordinate, profondità minima e massima, il tipo di fondale, la data del naufragio, il motivo del naufragio, fonte e infine uno spazio dedicato a dati o informazioni aggiuntive.

2.2 Criteri di inclusione ed esclusione dei dati

Per la raccolta di dati sono stati considerati solo quei relitti con un valore di grt (stazza lorda) superiore ai 100grt. Non sono stati considerati aerei, elicotteri o altri tipi di velivoli. La ricerca ha preso i dati di navi affondate solo nel bacino del Mar Mediterraneo, escludendo i relitti la cui posizione è stimata fuori dallo stretto di Gibilterra, nel Mar Nero o nell'Oceano Atlantico.

Non sono stati inclusi anche quei relitti la cui struttura è stata successivamente rimossa dal luogo dell'affondamento come la Costa Concordia. La rimozione di relitti per quanto complessa, spesso è motivata se non addirittura resa obbligatoria da motivi principalmente pratici, ad esempio se il relitto blocca l'ingresso ad un porto o se la struttura del relitto provoca pericoli alla navigazione considerati inaccettabili.

La ricerca su wrecksite.eu è avvenuta selezionando la mappa più completa a disposizione, quella del Mar Mediterraneo e ricercando i relitti affondati dal 1800 in poi in quanto molti fattori di inquinamento particolarmente pericolosi, quali idrocarburi, molti composti chimici e materiali radioattivi non erano presenti nei secoli precedenti al diciottesimo secolo. I primi risultati riportati, che si sono rivelati più della metà, non sono stati presi in considerazione perché si tratta di oggetti sottomarini sconosciuti. Tra questi vi sono inclusi ancore, catene, blocchi di cemento o cavi sottomarini che sono presenti nelle liste wrecksite.eu in quanto i servizi idrografici riportano oltre che ai relitti anche oggetti sommersi potenzialmente pericolosi alla navigazione. Sono stati anche esclusi dati di navi affondate in fiumi o laghi, che quindi non rientrano negli interessi della ricerca.

2.3 Organizzazione ed analisi dei dati raccolti

I dati dei relitti sono stati ordinati in un foglio Excel dove sono stati divisi in:

Nome della nave; nazionalità della nave; tipo di nave; dimensioni; tonnellaggio (rappresenta sempre la stazza lorda in grt); coordinate espresse in latitudine e longitudine; profondità minima e massima; fondale; data del naufragio; motivo del naufragio; fonte e informazioni aggiuntive.

Nello spazio per le informazioni aggiuntive sono state inseriti dati che raramente venivano forniti per la maggior parte dei relitti. Parliamo di notizie relative al naufragio, report di attività illegali, link a foto e informazioni sul cargo.

Per la classificazione dei relitti la fonte wrecksite divide questi ultimi in base al servizio per cui navigavano. La maggior parte dei relitti riscontrati, più della metà, appartiene alla categoria delle navi cargo. Parliamo di imbarcazioni che possono variare enormemente nella forma, nel peso e nella grandezza, soprattutto se si paragonano modelli dei primi del Novecento a quelli più moderni. Ci sono navi cargo di piccole dimensioni, che non superavano i 200 grt e altre che arrivavano ben oltre i 5000 grt. In mezzo a queste variabili sono state segnate separatamente le navi cargo classe liberty. Questo tipo di nave cargo usato dall'esercito degli Stati Uniti nella Seconda guerra mondiale era prodotto in serie e con armamenti, motori e peso standardizzato. Ogni classe liberty misurava non oltre di 134 metri da poppa a prua e avevano un tonnellaggio in media di 7176 grt. La maggior parte di queste navi sono state affondate in azioni di guerra durante la seconda guerra mondiale, ma alcune hanno continuato il servizio anche oltre il 45 essendo state acquistate da armatori europei dopo la guerra. Sono stati raccolti i dati di 30 navi cargo classe liberty. Sono state anche considerate a parte le container ships, per la differenza nella struttura necessaria per il trasporto di anche centinaia di container rispetto a navi cargo che non adottavano questa misura anche perché il traffico di container iniziò a prendere piede solo negli anni Sessanta. Tra le navi passeggeri invece fanno parte tutte quelle navi con lo scopo

principale di trasporto di persone e vi sono inclusi traghetti e piroscafi ma non i transatlantici che sono stati considerati una classe a parte. Il motivo di questa separazione è che si è riscontrato che i transatlantici sono, nella maggior parte dei casi, molto più grandi della nave passeggera media. Inoltre, i transatlantici hanno strutture e armamenti che, come dice il nome, gli consentono di attraversare gli oceani, cosa che la maggior parte delle navi passeggeri non è in grado di fare. Con sailing ship si sono volute includere tutte quelle navi la cui principale forma di locomozione è la vela. Sono comprese in queste categorie brigantini, golette e velieri. La maggior parte di queste navi è affondata nelle decenni passate e svolgevano spesso il ruolo di trasporti per piccoli carichi. Altre navi poco comuni, di cui a volte si è trovato un solo relitto per categoria, sono state comunque classificate a parte per la differenza che il ruolo, l'armamento e la struttura stessa potevano avere rispetto ad un relitto più comune. Relitti di questo tipo con una classificazione distinta sono le dredgers, yacht, survey vessels, ice breakers, barges, hydrographic ships, cable ships, support e auxiliary vessels, whalers, netlayers, salvage vessels e repair ships. Per le navi da guerra la suddivisione è avvenuta in base al tipo, dividendole in torpedo boat, submarine, destroyer, cruiser, gunboat, minesweeper, patrol boat, aircraft carrier, troop transport, Sloop-of-war, minelayer, battleship, landing ship e submarine chaser. I minesweeper ed i minelayer sono lo stesso tipo di nave ma il primo tipo deve svolgere il ruolo di identificazione e bonifica delle mine marine, mentre il secondo deve posizionarle. Sono stati riscontrati tipi di minesweeper che non erano stati costruiti per questo compito, ma che in realtà erano navi cargo o navi da pesca requisite e modificate per il ruolo durante la guerra.



Figura 5. Fauna sessile cresciuta negli interni del cacciatorpediniere HMS Southwold. (Da Wrecksite.eu).



Figura 6. Relitto della nave cargo Fort Missanabie con dettagli del cannone di prua (Da Wrecksite.eu; Foto di Marco Bartolomucci).

Le coordinate non sempre erano riportate e non sempre erano precise. Il sito stesso precisava che alcune delle coordinate avevano un margine di errore molto alto, superiore al km. Il motivo di questa imprecisione è legato al fatto che molte navi sono affondate in acque molto profonde, irrilevanti all'interesse dei servizi idrografici e molte di queste navi sono state affondate in periodo di guerra, con le coordinate che indicano il punto dell'affondamento, o in caso di attacco da parte di un sottomarino, le coordinate in cui il siluro ha colpito la nave e non la posizione del relitto sul fondale.

I dati riguardo la profondità e il tipo di fondale su cui si trova il relitto sono scarsi. La fonte wrecksite non menziona il tipo di fondale per oltre 3700 relitti mentre i dati relativi alla profondità sono spesso poco precisi e basati sulla profondità della zona dove è affondato il relitto che su una misurazione precisa. Sono stati divisi i dati in profondità minima e massima, dove la minima rappresenta la profondità a cui si trovano le parti più in superficie del relitto, mentre la massima rappresenta la profondità totale.

Si è deciso di includere nella raccolta dati i motivi dei naufragi per le possibili conseguenze che certi naufragi possono aver portato alla struttura del relitto e perché questi potrebbero influire in diversi modi con future ricerche, ad esempio se l'affondamento è stato deliberato. I motivi dei naufragi sono stati divisi in due macrocategorie. La prima racchiude naufragi avvenuti per sinistri marittimi, quali l'incendio a bordo o l'arenaggio, oppure cause naturali come il maltempo. La seconda macrocategoria raccoglie tutte le cause legate alla guerra, compresi quegli affondamenti deliberati avvenuti in seguito alla cattura della nave o per evitare la cattura da parte delle forze avversarie. Tra i metodi usati in guerra per affondare una nave si è fatta distinzione tra il cannoneggiamento, in cui una nave, spesso un cargo, subiva il fuoco nemico con poche se non nulle possibilità di difendersi e la battaglia navale. In una battaglia navale non è detto che una nave affondi a seguito di un cannoneggiamento poiché diverse navi da guerra potevano darsi battaglia con una vasta quantità di armi differenti oltre che ai cannoni

e quindi la causa degli affondamenti non è detto che sia una sola. Il dato segnato come “unclear” rappresenta navi affondate in azioni di guerra, spesso catturate da forze nemiche come sottomarini ma di cui non è chiaro il mezzo dell'affondamento.

I dati sul periodo del naufragio forniscono la data e l'anno in cui la nave è affondata. Sono state raggruppate le date dal 1800 fino al 1900 mentre per quelle successive si è proseguito dividendole in decenni dal 1901 in poi.

Dai dati raccolti sono stati estrapolati grafici volti a dare un'idea generale sulla situazione dei relitti nel Mediterraneo. Vista la mole di informazioni, avendo raccolto i dati di oltre 4000 relitti, si è deciso per chiarezza di usare principalmente istogrammi e grafici a torta.

3. Risultati

3.1 Tonnellaggio

I dati del tonnellaggio riportano che oltre undici milioni di grt sono depositati sui fondali del Mediterraneo. La somma di tutti i tonnellaggi raccolti è di 11.327.978 grt, con una media di $2780,554 \pm 4376,453$ grt per relitto. Sono stati presi i dati di relitti partendo da un minimo di 100 grt fino a raggiungere i 127069 grt della superpetroliera Agip Marche. I relitti più pesanti appartengono a categorie di navi dal peso eccezionalmente alto come superpetroliere o transatlantici, spesso usati come navi supporto in scenari di guerra come la Britannic, usata al tempo del suo affondamento come nave

ospedale e corazzate come la Roma. Questi però sono casi minoritari. La maggior parte dei relitti ha infatti un tonnellaggio che non supera i 3000 grt (Fig. 7).

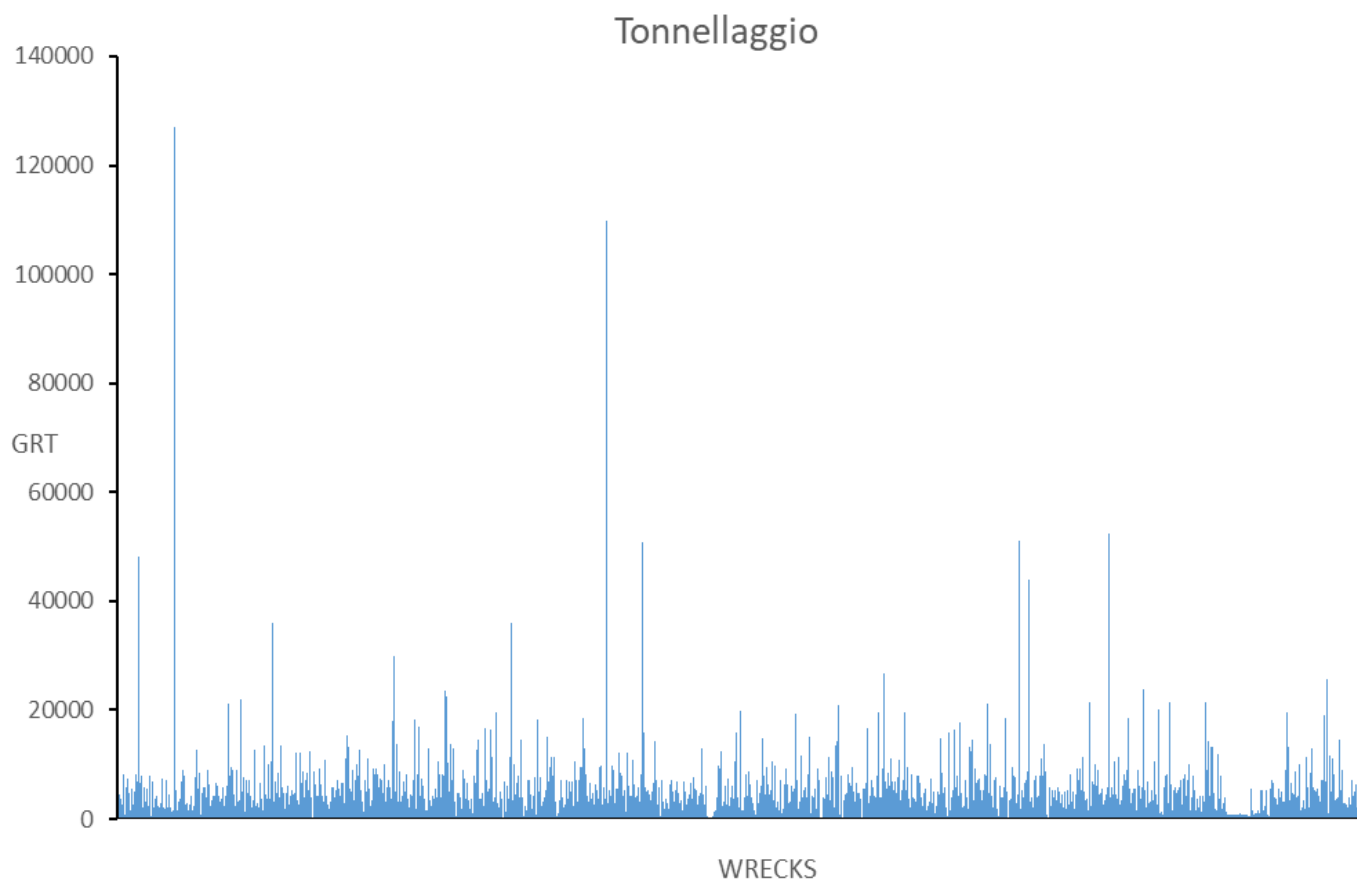


Figura 7. Tonnellaggio dei relitti studiati (grt).

3.2 Classi dei relitti

Oltre la metà dei relitti trovati nella ricerca appartiene alla tipologia delle navi cargo per un totale di 2235 relitti che rappresentano il 55% di tutte le navi. La seconda tipologia di navi per numero di relitti è rappresentata dalle navi passeggeri, che mostrano un totale 314 relitti (8%). La terza è rappresentata dalle sailing ships, con un totale di 277 relitti (7%). I relitti di navi classificabili come transatlantici invece sono 112. Soprattutto le navi da guerra sono in numero molto elevato, con 714 relitti divisi nelle rispettive classi. Le più numerose tra queste sono quella dei sottomarini con 232 relitti, quella dei destroyer con 142 e quella dei minesweeper con 91 relitti. Di alcuni tipi di navi abbiamo invece pochissimi relitti, spesso con un solo relitto per categoria. Abbiamo un solo relitto per le categorie ice breaker, whaler, netlayer, repair ship e hydrographic ship (Fig.8; Fig.9).

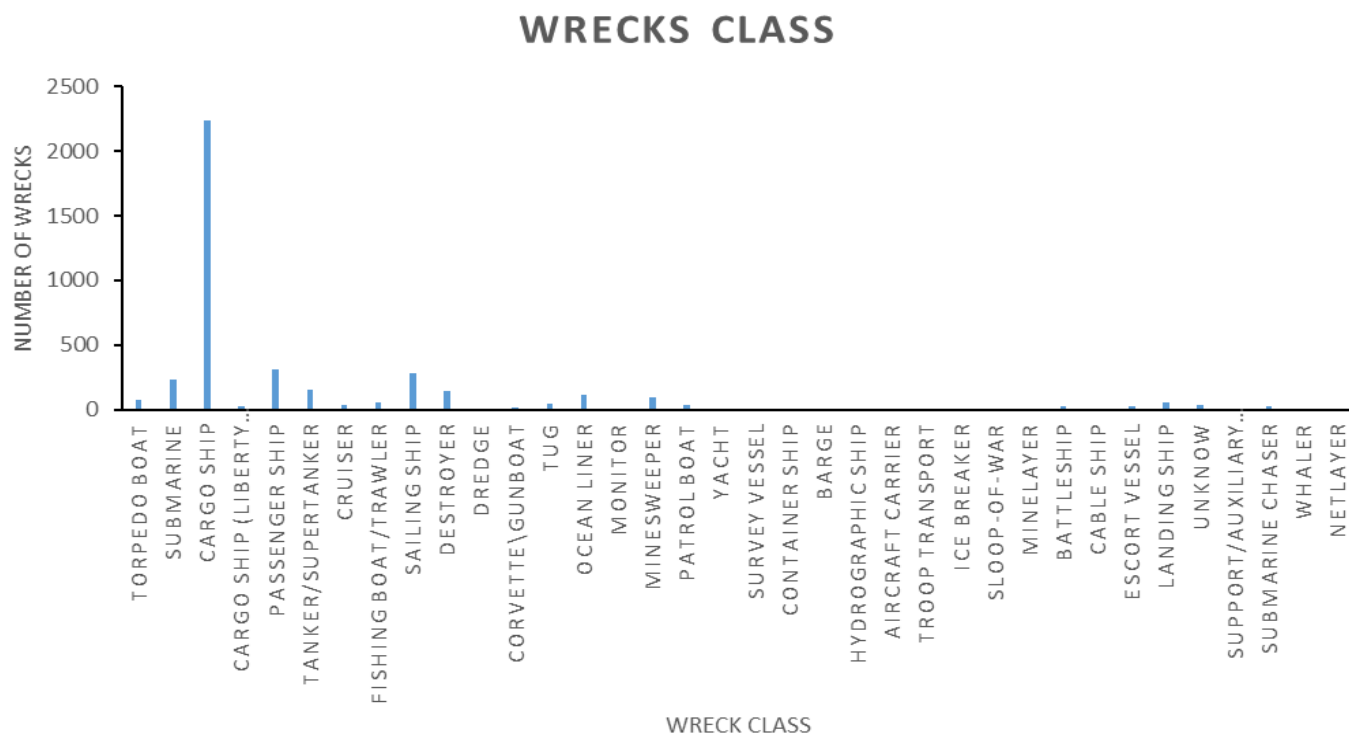


Figura 8. Numero di relitti per tipologia di nave.

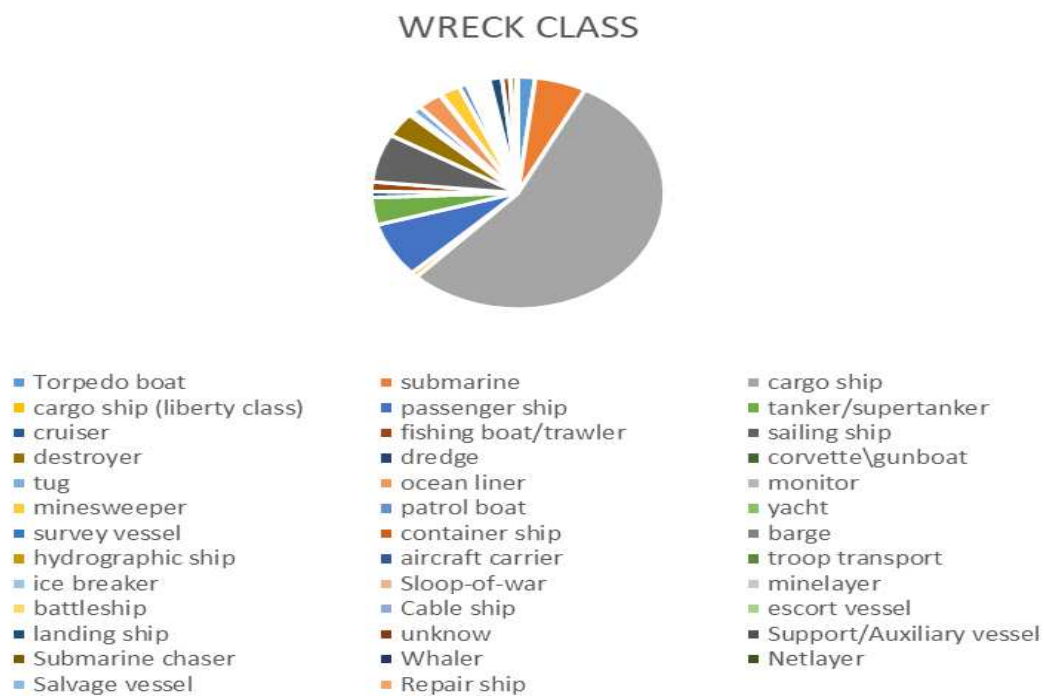


Figura 9. Composizione percentuale delle varie tipologie dei relitti trovati.

3.3 Profondità

Sono presenti dati di profondità solo per 1735 relitti. Di questi solo 544, ovvero il 31% si trova a profondità superiori ai 200m (Fig. 10; Fig. 11). Le profondità registrate nella raccolta dati vanno da un minimo di 0 metri fino al valore di profondità maggiore che è 4600 metri. La media delle profondità è di $486,7 \pm 874,591$ m.

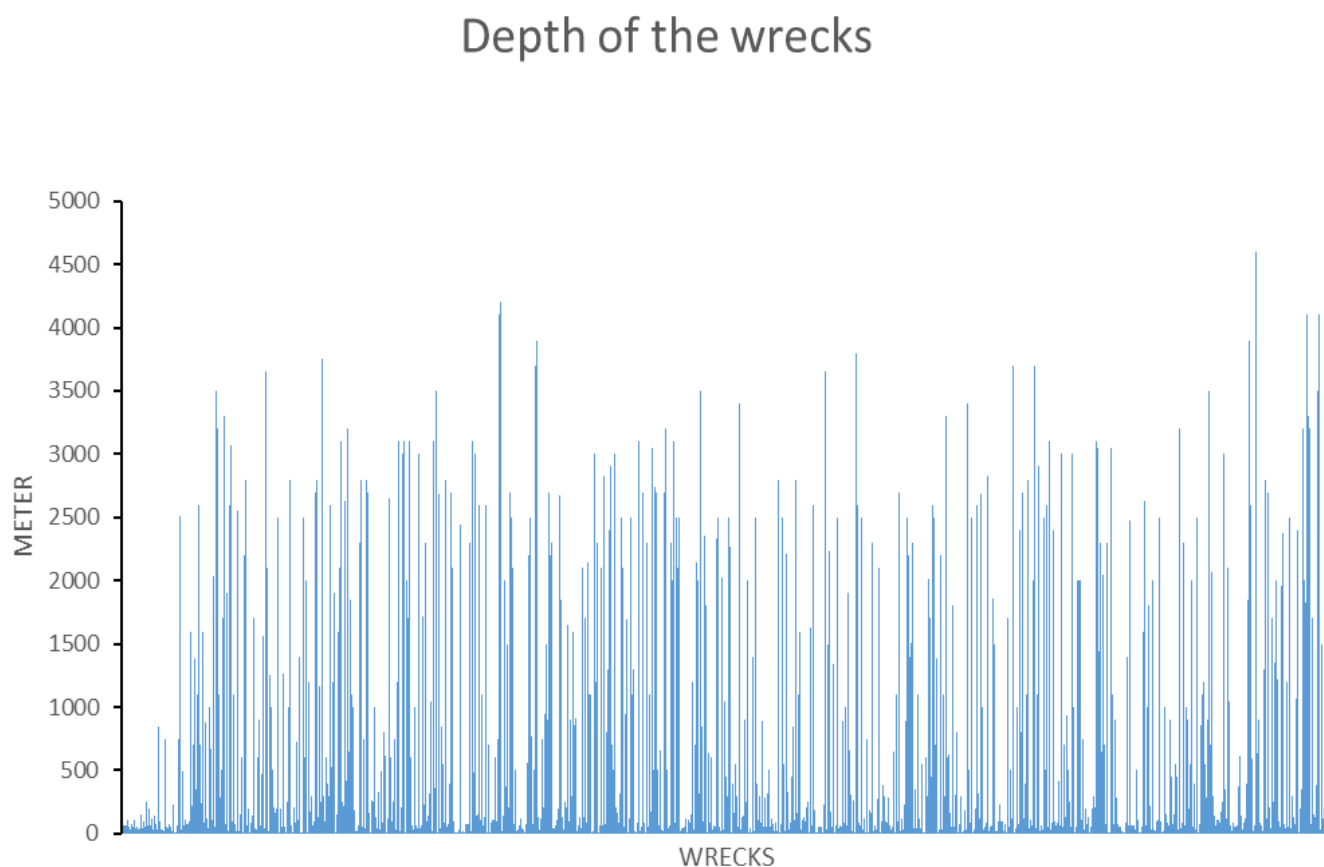


Figura 10. Grafico delle profondità di ogni relitto.

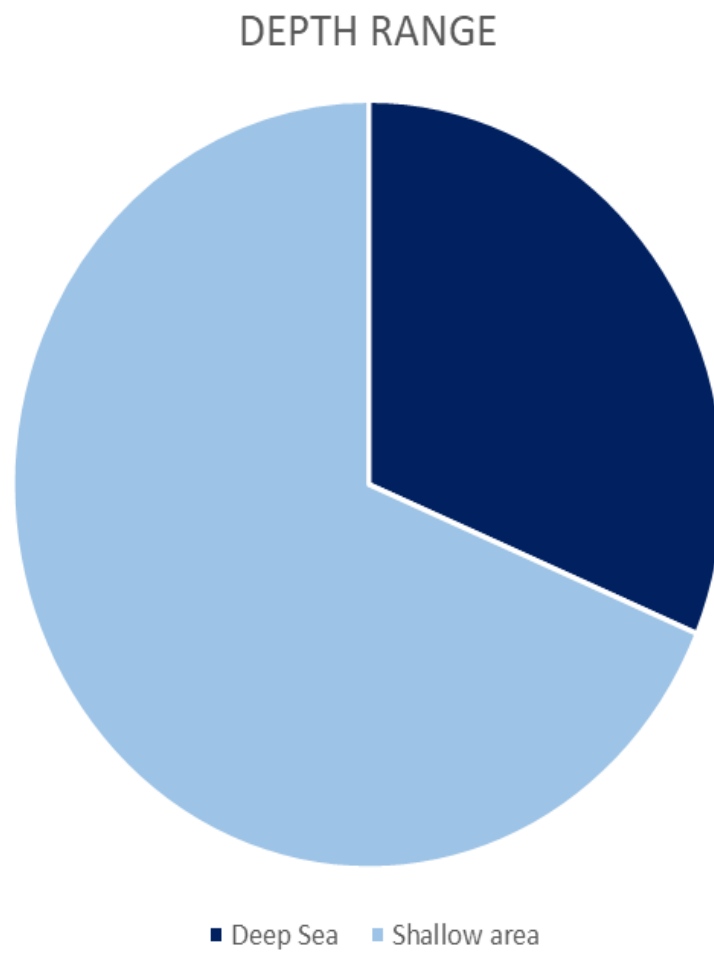


Figura 11. Suddivisione in percentuale dei relitti nel deep-sea e nelle aree superficiali.

3.4 Habitat del fondale

Sono presenti dati relativi al tipo di fondale su cui i relitti sono presenti solo per 434 di essi. Per tutti gli altri 3742 il dato non è pervenuto. I tipi di fondali più comuni sono quello sabbioso, per 214 relitti (49%), quello fangoso per 122 (28%) e quello roccioso per 46 (11%). Molto meno comuni sono i fondali segnati come misti che non superano i 10 relitti e di cui solo uno con presenza di alghe (Fig. 12; Fig. 13).

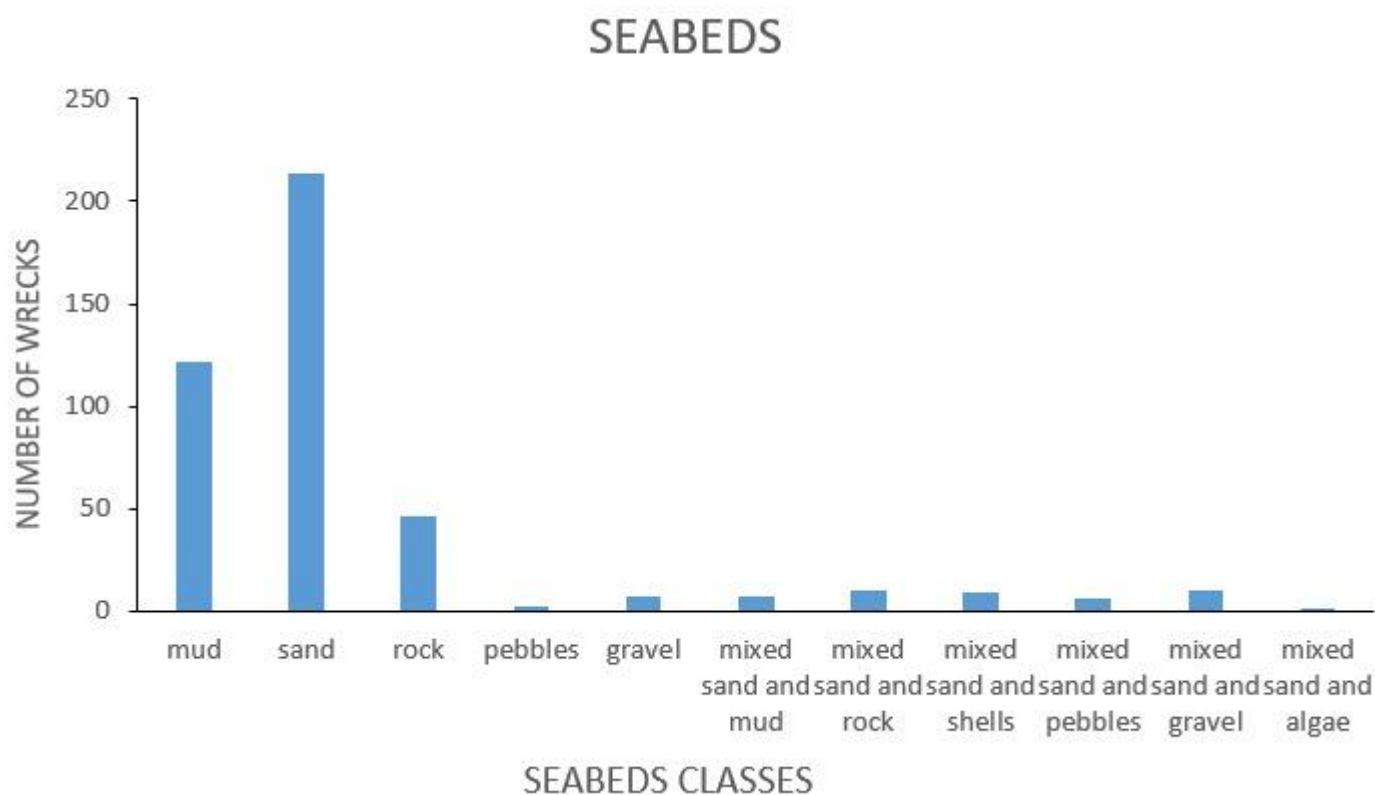


Figura 12. Numero di relitti per tipologia di fondale.

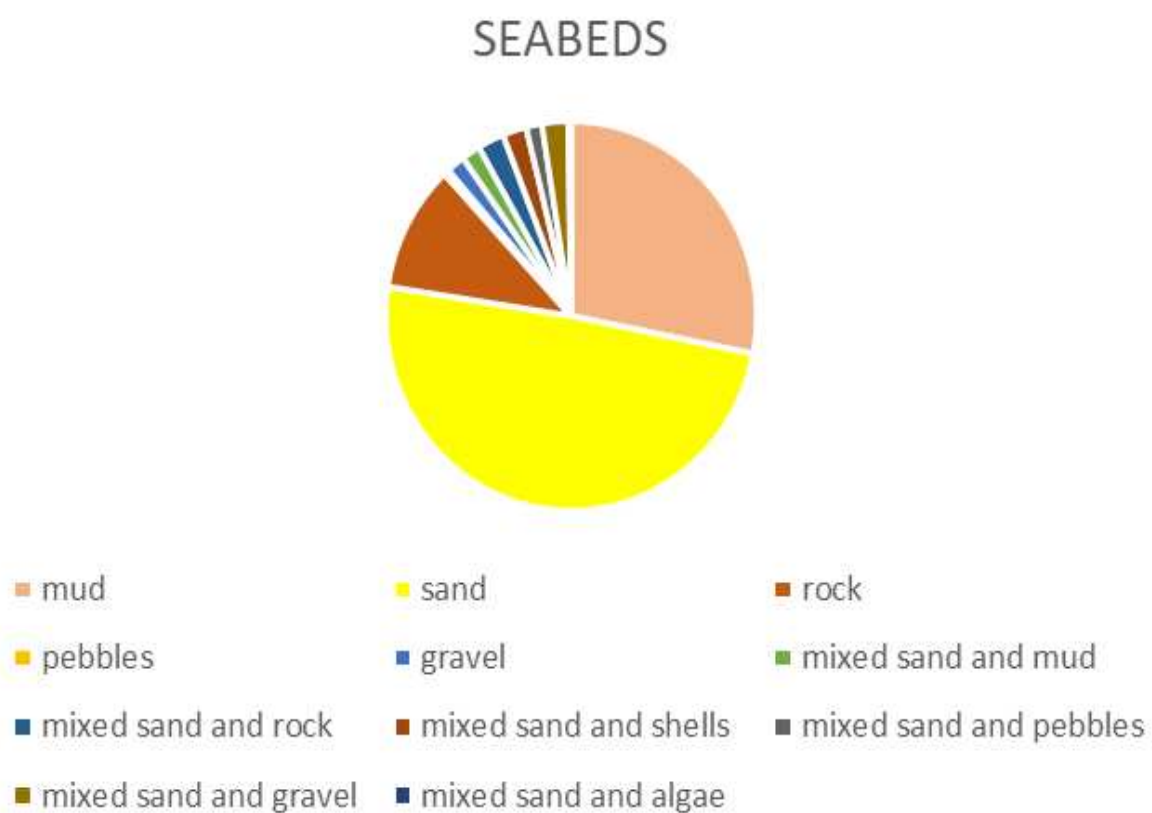


Figura 13. Abbondanza in percentuale dei relitti sulle varie tipologie di fondale.

3.5 Motivi dei naufragi

Tra le cause comuni o naturali di naufragio il numero più grande è l'arenaggio (ran aground), con 491 relitti (29%) conseguentemente molto vicini alle coste. La seconda causa più comune è quella della collisione accidentale con 218 relitti (13%). Si riscontra anche un alto numero di relitti per cui il dato non è pervenuto o non è chiaro, segnato sotto la voce unknow per 172 relitti (10%). Abbondanti anche i relitti affondati per maltempo con un totale di 169 relitti (10%), quelli in seguito ad un incendio con un totale di 115 relitti (7%) e per falle nello scafo con un totale di 158 relitti (9%). Sono stati trovati invece 129 navi deliberatamente affondate per i più svariati motivi, in particolare quello delle esercitazioni militari. Le navi affondate a seguito di un grave incidente che ha provocato un'esplosione sono 68. Quelle affondate per un capovolgimento sono 47 e quelle che hanno subito uno spostamento del carico 53. Abbiamo poi 46 navi dichiarate perdute, cioè navi scomparse di cui si ignora il motivo del naufragio. 6 casi di naufragio sono dovuti ad un guasto critico del motore. 18 navi sono state abbandonate dall'equipaggio e sono successivamente affondate. Si registra un solo caso di nave affondata in seguito di un evento meteorologico di eccezionale violenza segnalato come uragano (Fig.14; Fig. 15).

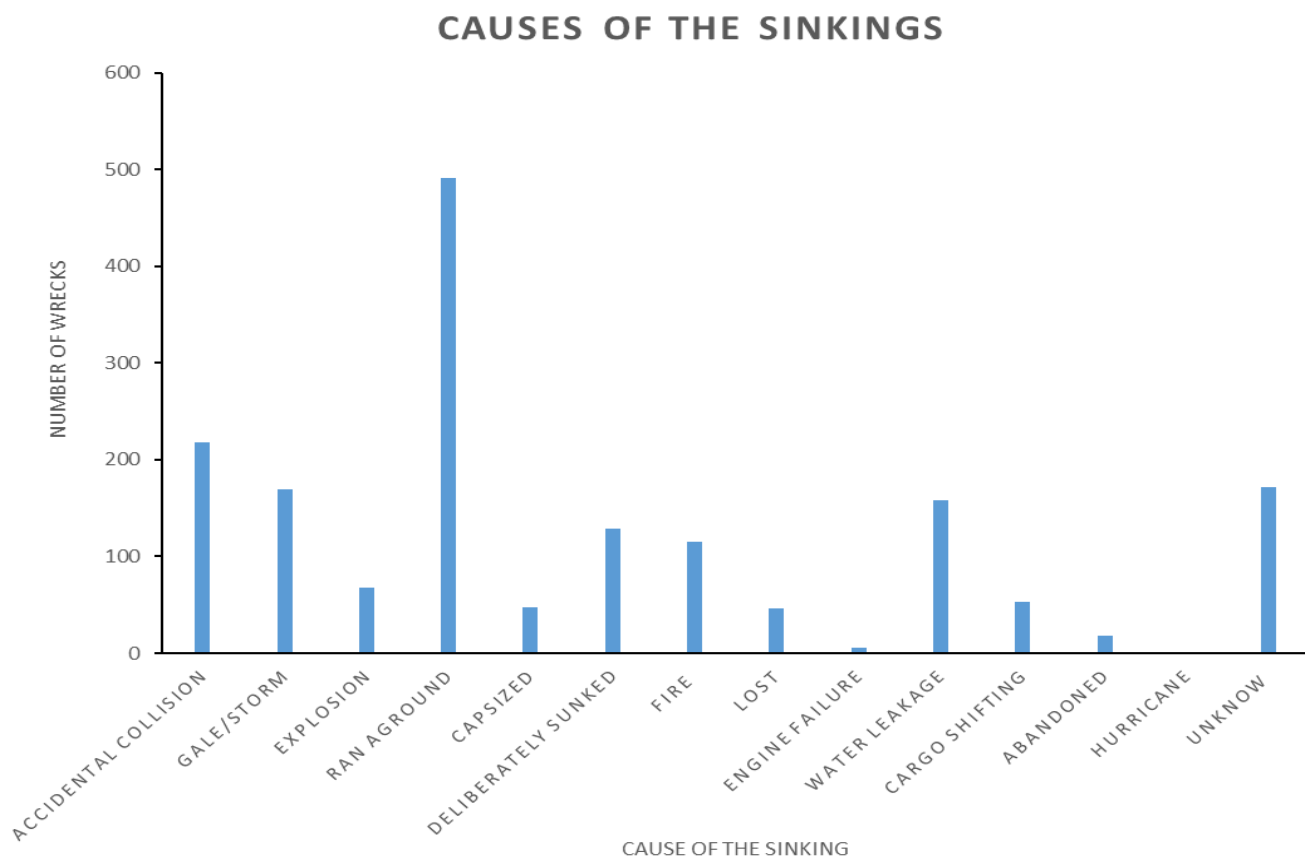


Figura 14. Cause dell'affondamento dei relitti.

CAUSE OF THE SINKING

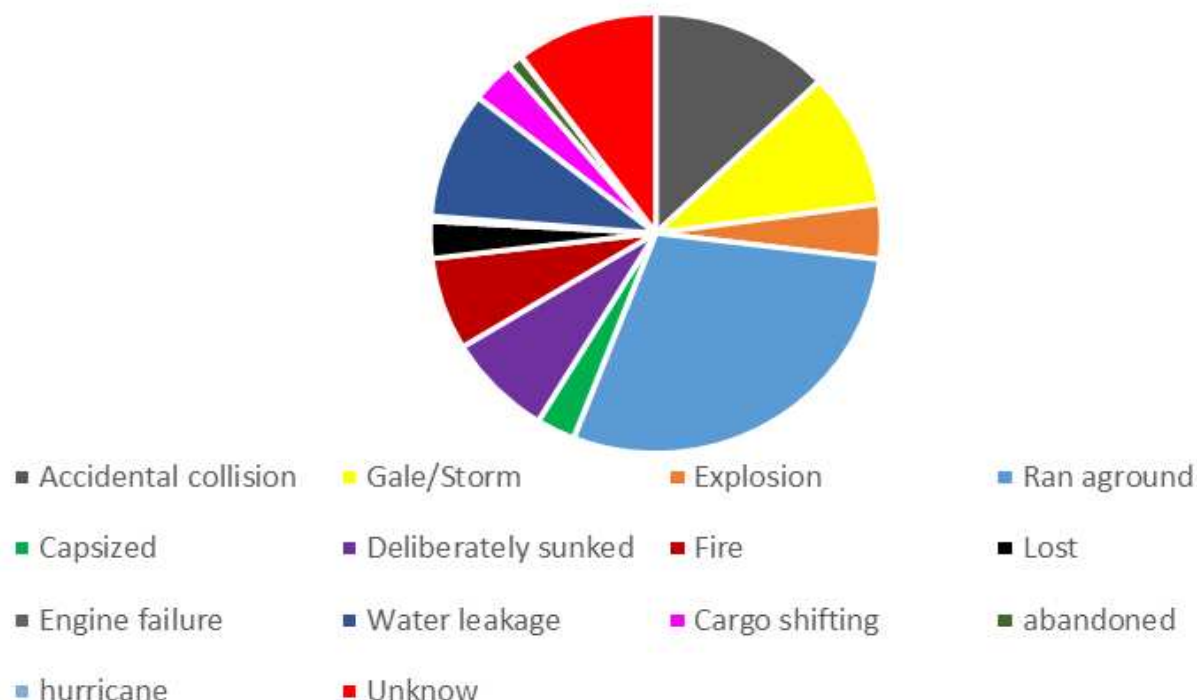


Figure 15. Percentuale delle cause dei naufragi.

Il caso di affondamento per cause di guerra più alto non solo del grafico ma di tutti i dati raccolti è per mezzo di siluri. Abbiamo 1126 navi affondate in questo modo (49%). Il secondo metodo di affondamento in guerra per quantità è il cannoneggiamento con 336 navi affondate dai cannoni di navi nemiche (14%). Distinta da questa categoria è quella della battaglia navale con 45 casi. Molto comuni anche gli affondamenti dovuti a collisioni con mine marine con 288 casi (12%) ed i raid aerei con 291 casi (13%). Ci sono poi 79 relitti di sottomarini affondati con cariche di profondità. 63 navi sono state deliberatamente affondate in guerra, spesso con l'uso di esplosivi (3%). 13 affondamenti sono stati causati da azioni di speronamento deliberato. Solo 2 navi sono state affondate in era moderna da missili. 76 relitti derivano da navi affondate in periodo di guerra con mezzi non chiari (Fig.16; Fig.17).

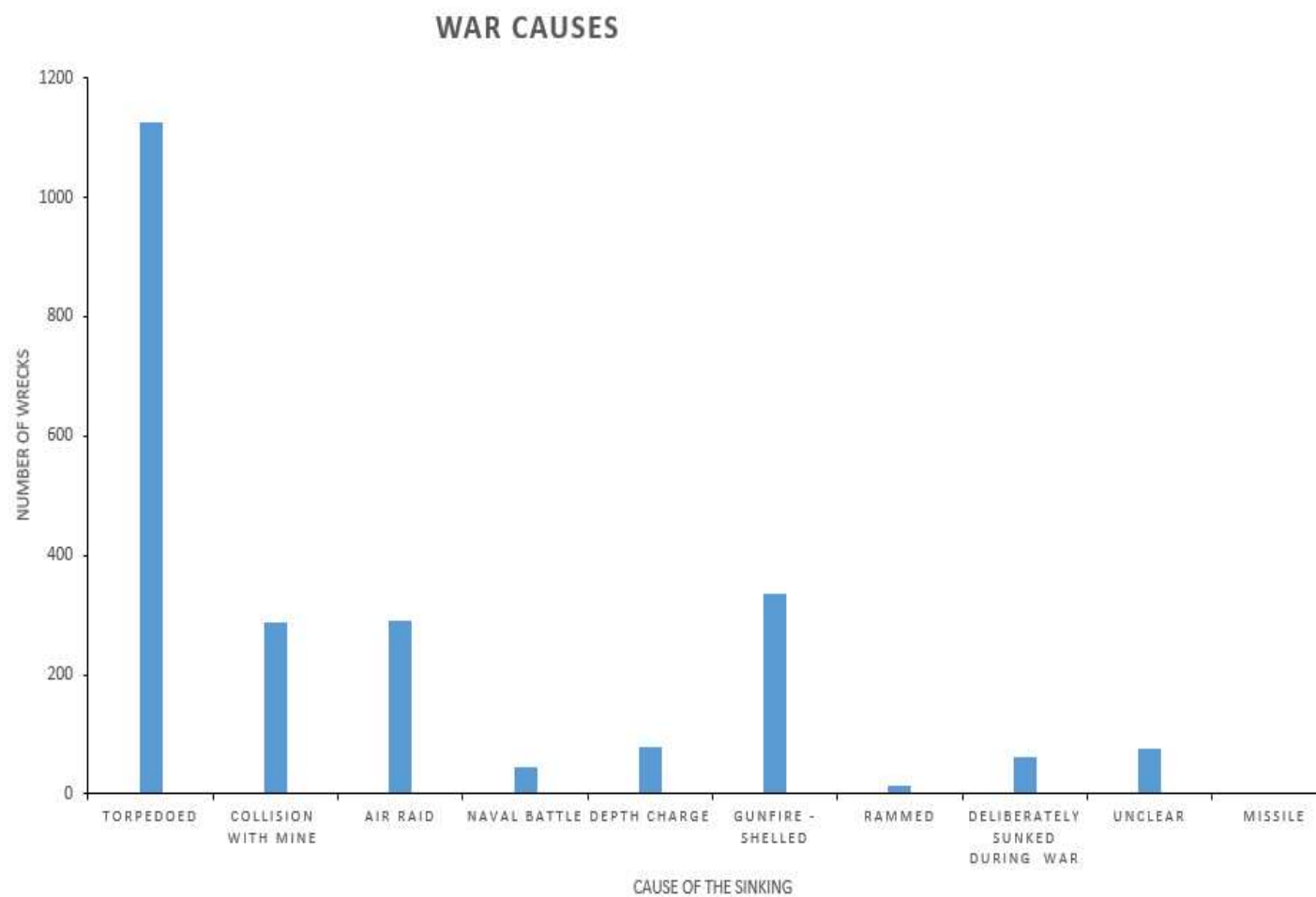


Figura 16. Numero di affondamenti per le cause di guerra.

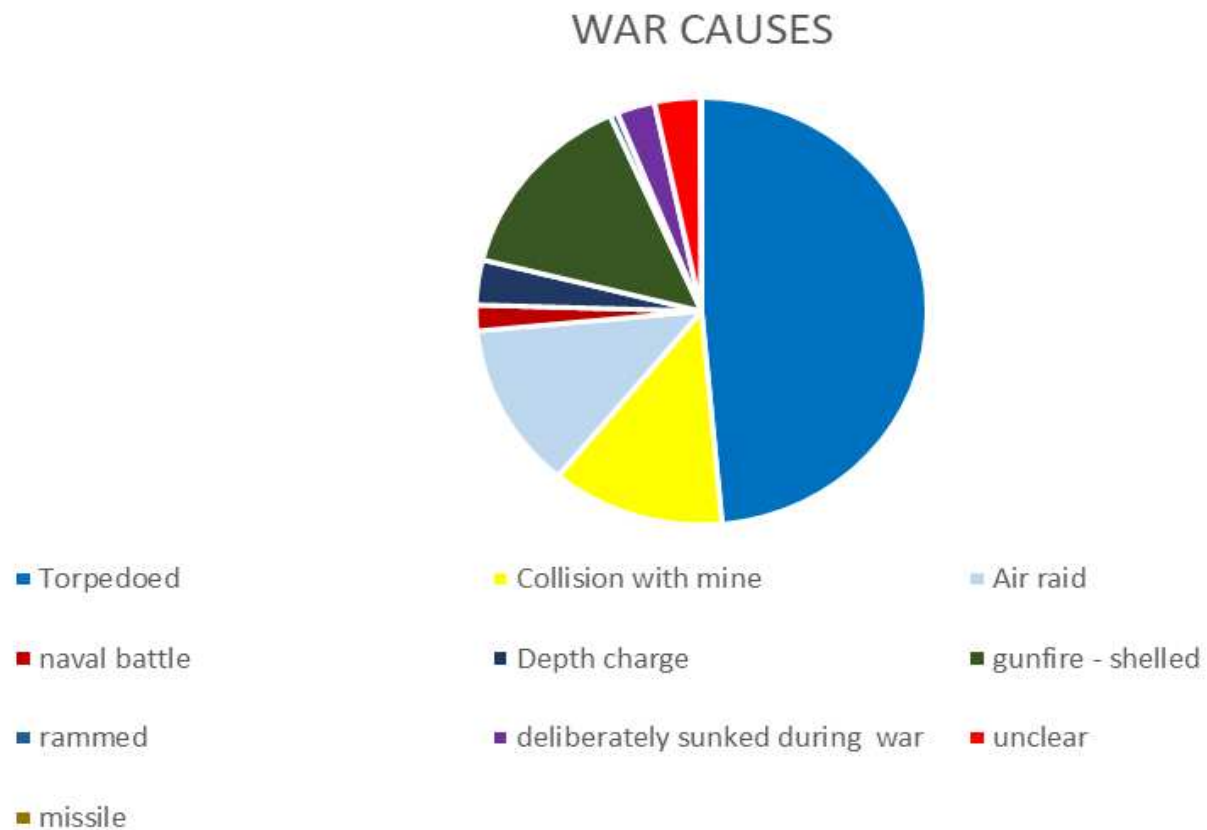


Figure 17. Percentuali delle varie cause di affondamenti avvenuti per motivi di guerra.

3.6 Anni dei naufragi

Un grande numero di affondamenti è concentrato nelle decadi tra il 1911 - 1920 per 1190 relitti (29%) e tra 1941 - 1950 per 1248 relitti (31%). Un terzo picco si è verificato nella decade 1971 – 1980 con 348 relitti (9%). I dati riguardo il 1800 in poi sono scarsi con solo 155 relitti per tutto il secolo (4%). Le navi affondate dal 2001 fino a oggi trovate sono 139 (3%). Di tutte le date trovate relative agli affondamenti 55 non sono completamente chiare e sono segnate come unclear data. Le navi di cui non si conosce la data del naufragio sono 22 (Fig. 18; Fig. 19).

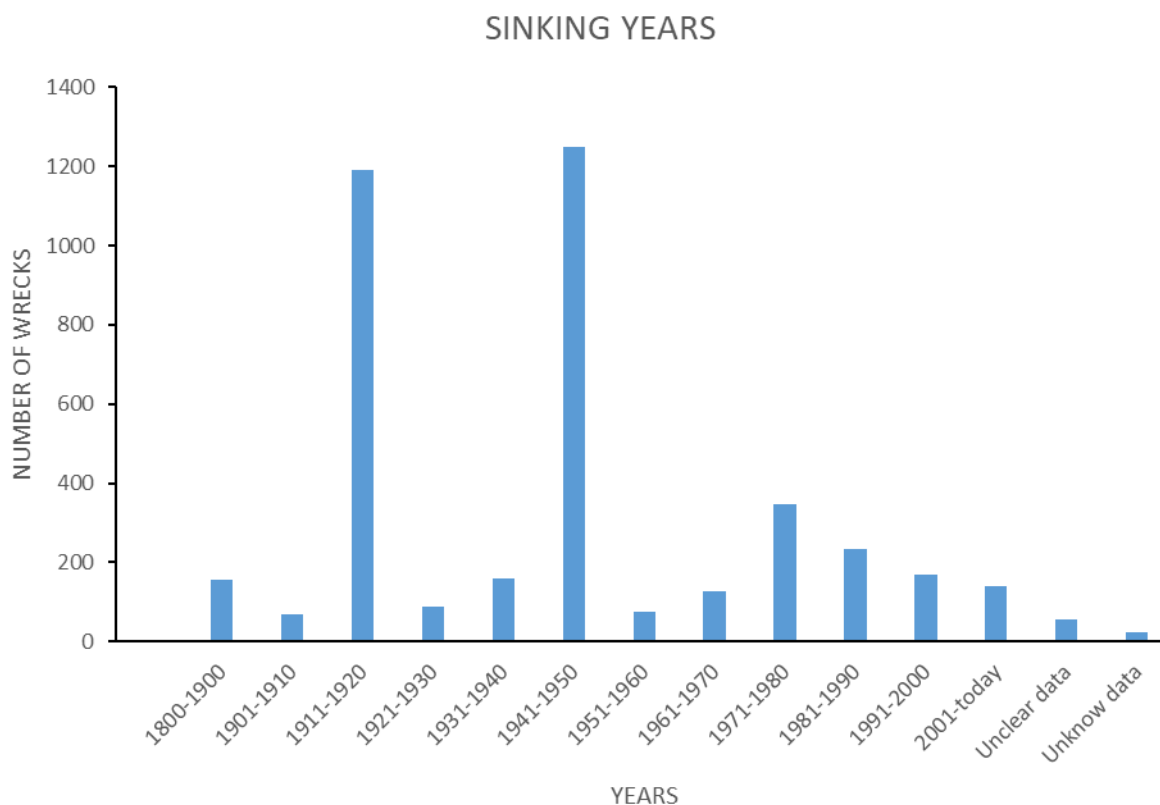


Figura 18. Numero di relitti affondati nelle decadi considerate.

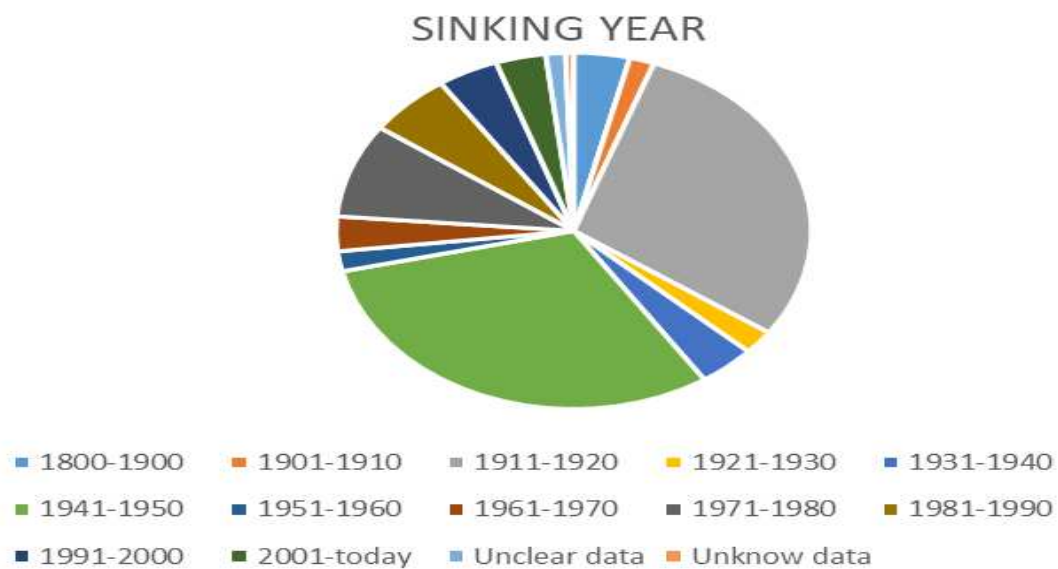


Figura 19. Percentuale di relitti affondati nelle decadi considerate.

3.7 Cargo delle navi affondate

Sono state trovate informazioni sul cargo di solo 286 navi. La maggioranza è sotto la classificazione di general cargo e vale per 56 relitti (20%). Il secondo tipo di cargo più comune è quello di tipo alimentare con 48 relitti (17%) che lo trasportavano (Fig.20; Fig. 21).

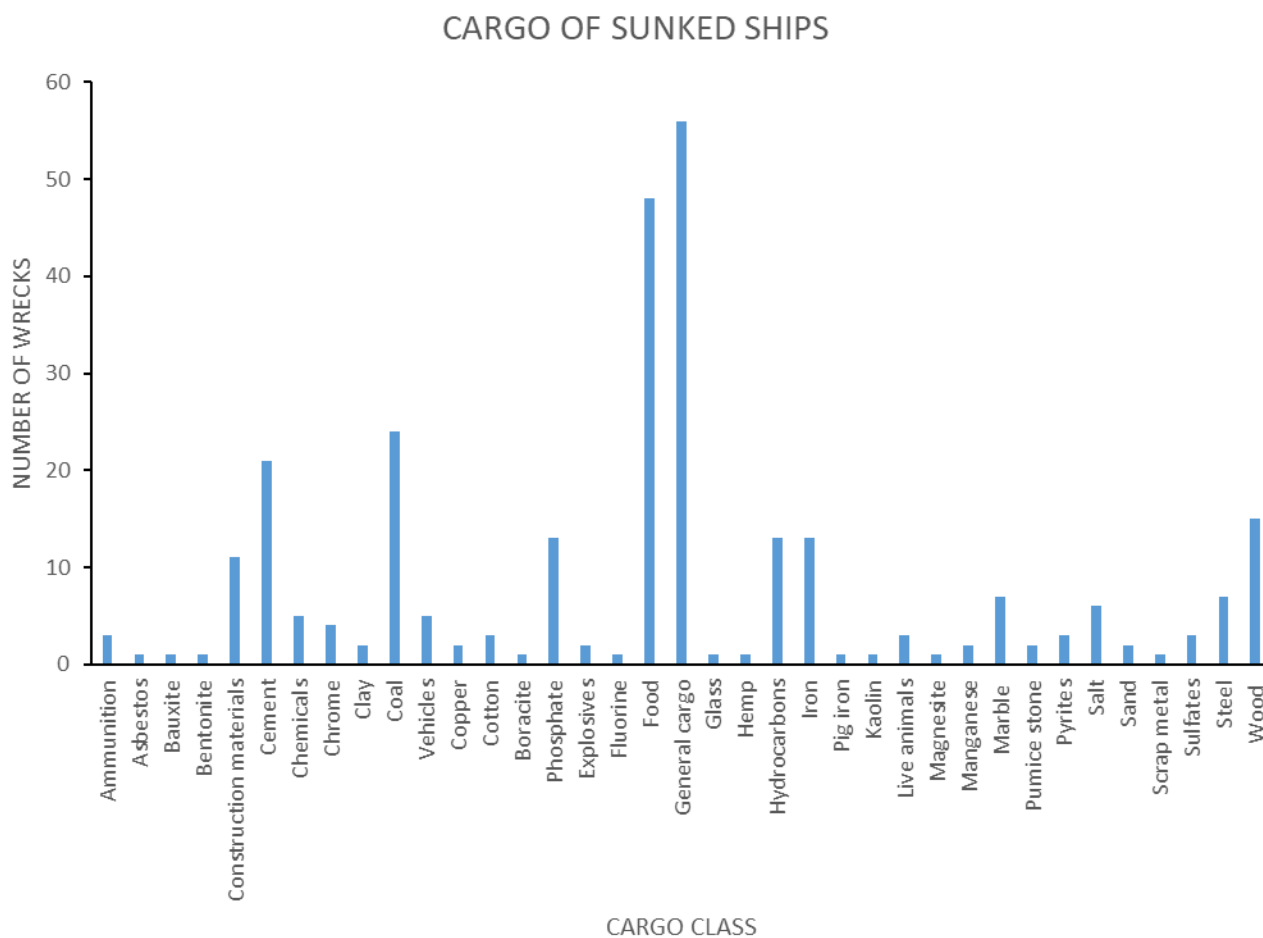


Figura 20. Numero di relitti contenenti le varie tipologie di cargo.

CARGO OF SUNKED SHIPS

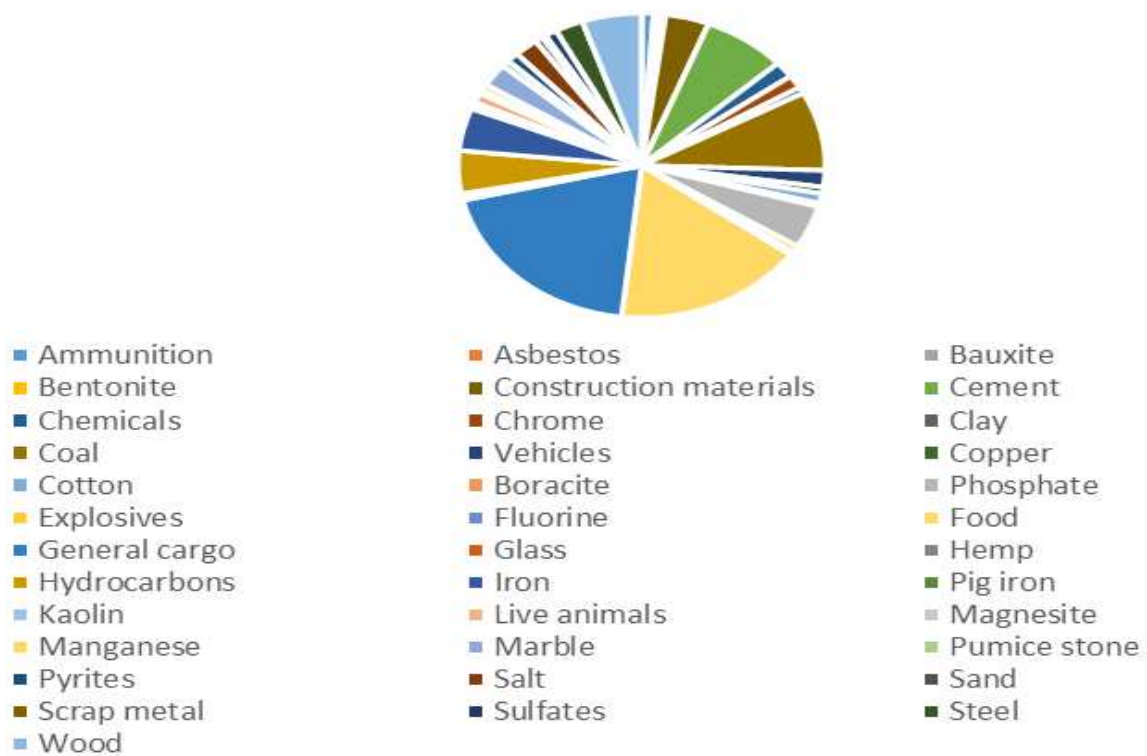


Figura 21. Percentuale di relitti contenenti le varie tipologie di cargo.

4. Discussioni

Dai dati raccolti si capisce come il Mediterraneo abbia accumulato una grande quantità di relitti nel corso degli anni. La maggior parte di questi si sono accumulati nel periodo delle due grandi guerre mondiali con oltre mille navi affondate per ogni guerra. Tuttavia, questi sono solo i relitti trovati con la fonte wrecksite dai registri Lloyd. Mancano tutti quei relitti che non sono inclusi nelle liste, o la cui antichità ha fatto perdere tracce e documenti.

La maggior parte dei relitti appartiene alla categoria delle navi cargo, che svolgono una funzione di trasporto per vari tipi di merci (Figura 8 e 9). Ogni relitto di questa classe è quindi a sua volta unico nel suo impatto con l'ambiente, variando in peso, dimensioni (Lanquist et al., 2014) e portando tipi di carichi diversi in quantità diverse. Di oltre 4000 relitti solo 286 avevano informazioni e dati riguardanti il carico, ma nessuna informazione riguardanti i documenti dei manifesti di carico o sulle quantità di cargo trasportato. Mancano inoltre dati riguardanti le quantità di materiale trasportato. La maggior parte dei carichi trovati, 56 su 286, fa parte della categoria dei general cargo. Con questa terminologia però si intende un range di materiali molto ampio, che spazia dal trasporto di cibo a quello di materiali chimici di varia natura. Con oltre 2000 navi cargo affondate nel Mediterraneo è probabile che ci siano state conseguenze significative a livello ambientale ma poiché ogni habitat reagisce in maniera diversa all'intrusione di un relitto non possiamo sapere con precisione cosa accada, soprattutto in ambienti marini profondi dove le conoscenze ecologiche sono ancora scarse. Una tipologia di cargo risultata essere molto frequente è il carbone, il quale rappresenta un importante fonte di impatto per gli organismi marini, causando stress fisici quali alterazione della tessitura dei sedimenti, abrasione, riduzione della luce ed ostruzione degli apparati di alimentazione e respirazione degli organismi (Ahrens e Morrissey 2005). Il tipo di cargo pericoloso meglio documentato è quello della tipologia degli idrocarburi, solo 13 dei carichi affondati appartenevano a questa categoria e sono stati indicati 153

relitti di navi cisterna. Non va tuttavia dimenticato che, quando una nave affonda, se il relitto non è stato bonificato in precedenza, questo porta a fondo con sé tutto il carburante, che nel corso del tempo si disperderà nell'ambiente circostante (Rogowska et al., 2015). Similmente a quelli che trasportavano carbone essi rappresentano un serio pericolo per gli organismi marini. Infatti, la dispersione in mare di petrolio causa diversi effetti avversi sulla vita marina, quali ad esempio una riduzione dell'intensità luminosa con conseguente decremento della fotosintesi da parte degli organismi fitoplanctonici, un'alterazione della denitrificazione e fissazione dell'azoto da parte dei batteri che vivono nei sedimenti, diminuzione della biodiversità macrobentonica ed aumento della mortalità degli uccelli marini (Quigg et al., 2021; Kababu et al., 2022; Shah e Soni 2024). I relitti contenenti un cargo di Ferro possono anch'essi rappresentare un notevole pericolo per l'ecosistema marino. Studi pregressi hanno infatti dimostrato come l'arricchimento di Ferro porti ad una diminuzione della biomassa, densità e diversità della comunità batterica e meiofaunale (Soltwedel et al., 2023) con conseguenze negative per il funzionamento ecosistemico. Analogamente all'affondamento delle navi, anche la frequente perdita di container da esse può causare degli effetti negativi sull'ambiente marino circostante, alterando le comunità macro e megafaunali (Taylor et al., 2014). Purtroppo, per molte tipologie di cargo trasportate, anche in numero abbondante (cibo, cemento, legno ecc.), non ci sono ad oggi studi che possano indicarci con precisione quali siano i loro effetti sull'ambiente.

Un altro tipo di nave da tenere in considerazione per le conseguenze del suo carico nell'ambiente è quello delle navi da guerra. Non abbiamo trovato dati precisi sulle quantità di munizioni trasportate, ma è probabile che anche queste nel tempo abbiano effetti sugli organismi bentonici e pelagici a contatto con i relitti e con il proseguire della degradazione della struttura e delle munizioni si rischia un aumento dei vari contaminanti associati a dispositivi bellici (Maser et al., 2022). Tale fenomeno è ulteriormente aumentato dall'incremento di temperatura dovuto al cambiamento climatico, causando

così un aumento della corrosione e conseguentemente del rilascio degli inquinanti (Scharsack et al., 2021). Tuttavia, è stato anche riscontrato come l'aumento della temperatura possa anche aumentare il tasso di degradazione degli inquinanti organici da parte dei microrganismi (Scharsack et al., 2021). È stato anche dimostrato come la degradazione microbica degli inquinanti organici provenienti dai relitti e dalle munizioni avvenga più velocemente nei sedimenti con una tessitura minore (Smith et al., 2013). Questo induce ottimismo riguardo l'evolversi del naturale processo di degradazione degli inquinanti rilasciati dalle munizioni presenti nei relitti considerando che il maggior numero di essi è stato riscontrato su un fondale di tipo sabbioso o fangoso e l'incremento della temperatura e le anomalie termiche positive sono destinate ad aumentare nei prossimi anni. Allo stesso tempo, ciò porta anche a considerare la bonifica dei relitti affondati su un fondale ghiaioso o roccioso come prioritaria. Oltre all'eventuale presenza di carichi contenenti composti chimici, è stato rinvenuto come la concentrazione di inquinanti sia direttamente proporzionale al tonnellaggio del relitto. Tali inquinanti risultano essere particolarmente persistenti nell'ambiente marino, mostrando un tempo di decadimento di circa 80 anni (Bell 2019).

Per quanto riguarda il monitoraggio degli ambienti bisognerà sicuramente considerare quelle zone in cui c'è stato un accumulo di relitti nel corso degli anni. Queste sono sicuramente le coste, considerando le 491 navi arenate e le zone di accumulo sono facilmente individuabili dai servizi idrografici poiché alcune di queste navi potrebbero rappresentare pericoli per la navigazione. Altre zone di accumulo che si potrebbero prendere in considerazione sono quelle dei passaggi obbligati come lo stretto di Gibilterra (Fig. 22), dove il traffico marittimo negli anni passati ha condotto a numerosi incidenti.

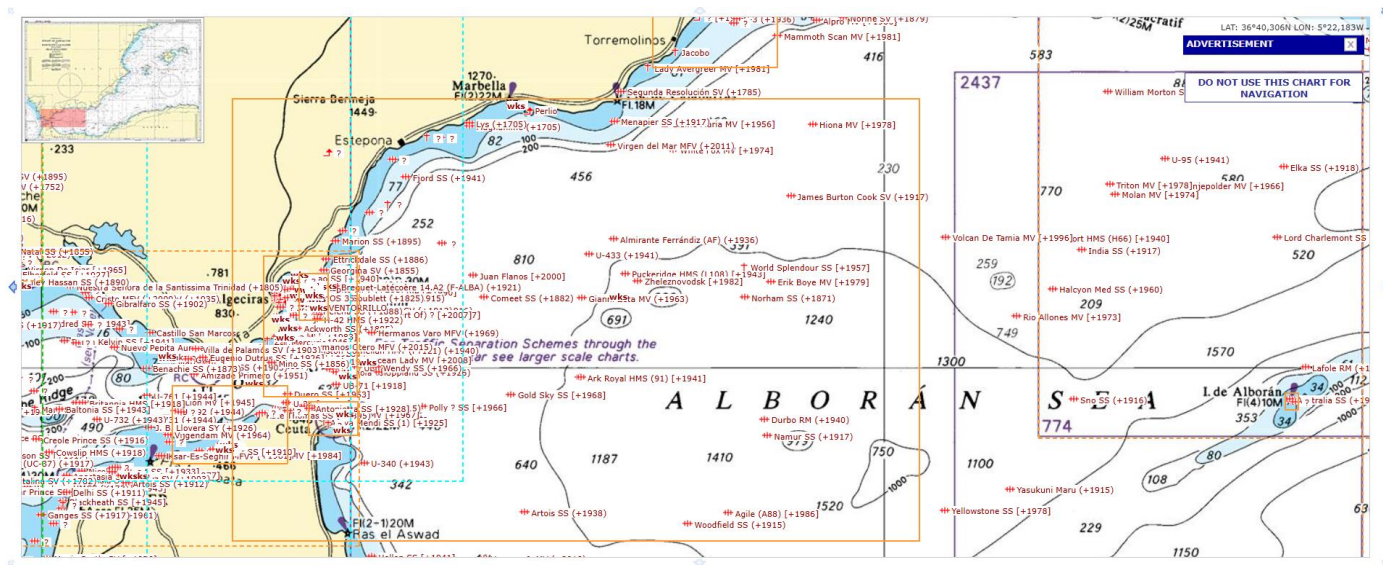


Figura 22. Mappa idrografica dello stretto di Gibilterra che mostra l'alta concentrazione di relitti nella zona.

Anche gli ambienti marini profondi meriterebbero una grande attenzione in quanto difficili da studiare e raggiungere. Il numero inferiore di relitti sprofondati oltre i 200m (Figura 11) non deve far dimenticare che la fonte principale non riporta la maggior parte dei dati sulle profondità e sugli habitat in quanto i servizi idrografici non hanno grande interesse a riportare tali informazioni se queste non rappresentano un pericolo per la navigazione. Considerando inoltre che la posizione esatta di molti relitti a profondità elevate non è chiara è probabile che tali dati non siano stati ancora stati raccolti.

Nel corso delle ultime decadi c'è stato un calo consistente degli incidenti dovuti a sinistri marittimi (Figure 18 e 19). Ciò è spiegabile con l'aumento degli standard di sicurezza marittima e delle tecniche di navigazione.

In generale non è chiaro quanto un relitto possa essere nocivo o positivo per un ecosistema marino nel lungo termine. Da un punto di vista negativo vanno considerati il rilascio di inquinanti nel corso degli anni anche non in relazione al carico (metalli pesanti della struttura; vernice antifouling; componenti elettriche; altre sostanze a bordo). Inoltre, la risposta dei complessi meccanismi ecosistemici degli habitat marini ai relitti non è ancora del tutto chiara. I relitti potrebbero comunque rivelarsi utili zone di

aggregazione per diversi organismi marini, garantendogli protezione dalla pesca a strascico strappando le reti (Figura 2) e fungendo da hotspot di biodiversità e da stepping stones per diverse specie sessili. Studi pregressi hanno rivelato come i relitti profondi possano agire da “artificial reef” fornendo un substrato duro dove possono insediarsi e crescere organismi protetti quali *Madrepora oculata*, *Desmophyllum pertusum*, *D. dianthus*, (Angiolillo et al., 2021). Risultati simili sono stati ottenuti per i relitti superficiali dove sono risultati colonizzati da *Ostrea edulis*, *Corynactis viridis*, *Paramuricea clavata*, *Leptopsamia pruvoti*, *Eunicella cavolinii* (Fig. 23), bryozoans (*Aedonidae spp.*), *serpulids*, and red encrusting algae (*Corallinales spp.*) *Aplysina aerophoba*, *Antipathella subpinnata* (Bo et al., 2008; Peirano 2013; Aurelle et al., 2020;). Concludendo, si può affermare che i relitti possano fornire un habitat adatto alla crescita di specie di elevato interesse conservazionistico, poiché protette da diverse legislazioni nazionali ed internazionali (es. IUCN, Direttiva Habitat, Convenzione di Barcellona).



Figura 23. Colonie di coralli cresciute su un relitto superficiale.

Al contrario della componente bentonica, l'effetto positivo sull'assemblaggio dei pesci nell'area del relitto è ancora in fase di dibattito ed i risultati emersi in letteratura sono ancora discordi. Attualmente, non si è ancora stabilito in maniera univoca se nelle vicinanze di un relitto (o di un altro artificial reef) vi sia un aumento dell'abbondanza e/o della biomassa a causa dell'attrazione che esso svolge su di essi oppure se vi sia una maggiore produzione di nuovi individui (Brickhill et al., 2005 e citazioni all'interno). Un recente studio ha evidenziato come i pesci che si trovano in corrispondenza di un relitto appartengano a gilde trofiche diverse rispetto a quelli presenti nei reef naturali. Pertanto l'uso dei relitti come strumento per il ripopolamento della componente ittica è da valutare con estrema cautela (Simon et al., 2013).

5. Conclusioni

In conclusione si ritiene che i dati riguardanti i relitti presenti nel Mar Mediterraneo siano ancora scarsi e richiedano ulteriori studi ed integrazioni sia riguardo le caratteristiche del relitto stesso (tipologia, profondità, causa dell'affondamento ecc.) che sulle componenti biologiche quali ad esempio le biocenosi che ospita ed i suoi effetti sull'ambiente. Questa mancanza di dati è amplificata per i relitti situati nel deep-sea, i quali, pur rappresentando una percentuale minoritaria tra quelli censiti, si trovano in un ambiente estremamente vulnerabile su cui si hanno poche conoscenze. Ciò è spiegato dal fatto che lo studio di relitti in zone oltre i 200m di profondità è spesso riservato a navi storicamente importanti o i cui trascorsi sono stati tragici in termini di vite umane, in quanto costoso e difficile da realizzare. In generale, è difficile pensare ad un modo per prevedere le conseguenze ambientali di un naufragio in quanto ogni nave e ogni ambiente presentano caratteristiche uniche. La gestione di un relitto si dovrebbe svolgere con lo studio di quest'ultimo e degli ambienti circostanti nel corso degli anni. I risultati ottenuti in questa tesi supportano l'urgenza e la necessità di sviluppare un metodo di valutazione del rischio per i relitti potenzialmente inquinanti (Landquist et al., 2013). Al contrario, dai dati presenti in letteratura e quelli rinvenuti durante la ricerca, emerge la potenzialità dei relitti di agire come artificial reef promuovendo la crescita di organismi, quali ad esempio coralli, di elevato interesse conservazionistico. Fra le varie strategie di gestione di un relitto vi è la sua rimozione. Tuttavia non è materia semplice in quanto leggi internazionali e nazionali spesso entrano in conflitto tra loro e ciò rende il processo decisionale lungo ed articolato, dovendo vagliare molti fattori chiave quali il pericolo per la navigazione, per l'ambiente, e le conseguenze (sia positive che negative) dell'operazione di

rimozione (Whittington et al.,2017). Lo studio dei relitti, soprattutto quelli profondi, risulta essere di particolare importanza dal momento che i cambiamenti climatici stanno modificando su più fronti gli ecosistemi marini, causando il declino di organismi quali ad esempio i coralli (profondi e non) che si è visto crescere abbondantemente su di essi. Pertanto, i relitti potrebbero giocare un ruolo importante nella mitigazione degli effetti del cambiamento climatico, andando a rappresentare una fonte di approvvigionamento di colonie di corallo utilizzabili nelle azioni di restauro ambientale.

Bibliografia

- Ahrens, M. J., Morrisey, D. J. (2005). Biological effects of unburnt coal in the marine environment. In *Oceanography and marine biology* (pp. 79-132). CRC Press.
- Angiolillo, M., Rossi, L., La Mesa, G., Canese, S., Giusti, M., Tunesi, L., Salvati, E., Di Lorenzo, B. (2021). New records of scleractinian cold-water coral (CWC) assemblages in the southern Tyrrhenian Sea (western Mediterranean Sea): Human impacts and conservation prospects. *Progress in Oceanography*, 197, 102656.
- Asner, G. P., Giardina, S. F., Balzotti, C., Drury, C., Hopson, S., Martin, R. E. (2022). Are Sunken Warships Biodiversity Havens for Corals?. *Diversity*, 14(2), 139.
- Aurelle, D., Tariel, J., Zuberer, F., Haguenaue, A., Ribout, C., Masmoudi, M., Kara, H., Chaoui, L., Garrabou, J., Ledoux, B., Gambi, M. C. (2020). Genetic insights into recolonization processes of Mediterranean octocorals. *Marine Biology*, 167, 1-14.
- Avio, C. G., Cardelli, L. R., Gorbi, S., Pellegrini, D., Regoli, F. (2017). Microplastics pollution after the removal of the Costa Concordia wreck: First evidences from a biomonitoring case study. *Environmental Pollution*, 227, 207-214.
- Barrett, M. J., Halpin, N. P. (2011). Potentially Polluting Shipwrecks: Spatial Tools and Analysis of WWII Shipwrecks. Nicholas School of the Environment, Duke University.
- Bearzi, G., Politi, E., Agazzi, S., Azzellino, A. (2006). Prey depletion caused by overfishing and the decline of marine megafauna in eastern Ionian Sea coastal waters (central Mediterranean). *Biological Conservation*, 127(4), 373-382.
- Bell, M. S. (2019). The Effects of Sunken Automotives on Benthic Sediments.
- Bo, M., Tazioli, S., Spanò, N., Bavestrello, G. (2008). *Antipathella subpinnata* (Antipatharia, Myriopathidae) in Italian seas. *Italian Journal of Zoology*, 75(2), 185-195.
- Brickhill, M. J., Lee, S. Y., Connolly, R.M. (2005). Fishes associated with artificial reefs: attributing changes to attraction or production using novel approaches. *Journal of Fish Biology*, 67, 53-71.

- Casoli, E., Ventura, D., Cutroneo, L., Capello, M., Jona-Lasinio, G., Rinaldi, R., Criscoli, A., Belluscio, A., Ardizzone, G. D. (2017). Assessment of the impact of salvaging the Costa Concordia wreck on the deep coralligenous habitats. *Ecological Indicators*, 80, 124-134.
- Cheal, A. J., MacNeil, M. A., Cripps, E., Emslie, M. J., Jonker, M., Schaffelke, B., Sweatman, H. (2010). Coral–macroalgal phase shifts or reef resilience: links with diversity and functional roles of herbivorous fishes on the Great Barrier Reef. *Coral reefs*, 29, 1005-1015.
- Craveiro, N., de Almeida Alves, R. V., da Silva, J. M., Vasconcelos, E., de Almeida Alves-Junior, F., Rosa Filho, J. S. (2021). Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna associated with macroalgae on the tropical coast of Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 165, 112107.
- Fenner, D. (2014). Fishing down the largest coral reef fish species. *Marine pollution bulletin*, 84(1-2), 9-16.
- Galil, B. S. (2006). Shipwrecked–shipping impacts on the biota of the Mediterranean Sea. In *The ecology of transportation: managing mobility for the environment* (pp. 39-69). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Hamdan, L. J., Hampel, J. J., Moseley, R. D., Mugge, R. L., Ray, A., Salerno, J. L., Damour, M. (2021). Deep-sea shipwrecks represent island-like ecosystems for marine microbiomes. *The ISME Journal*, 15(10), 2883-2891.
- Islam, M. N., Ganguli, S., Saha, N., Khatun, F., Karim, R., Tanvir, E. M., Howlader, S., Siddique, A. B., Peng, C., Ng, J. C. (2022). Effects of shipwrecks on spatiotemporal dynamics of metal/loids in sediments and seafood safety in the Bay of Bengal. *Environmental Pollution*, 315, 120452.
- Jimenez, C., Hadjioannou, L., Petrou, A., Andreou, V., Georgiou, A. (2016). Fouling communities of two accidental artificial reefs (modern shipwrecks) in Cyprus (Levantine Sea). *Water*, 9(1), 11.
- Kababu, E., Angel, D. L., Sisma-Ventura, G., Belkin, N., Rubin-Blum, M., Rahav, E. (2022). Effects of crude oil and gas condensate spill on coastal benthic microbial populations. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1051460.

- Killi, N., Tarkan, A. S., Kozic, S., Copp, G. H., Davison, P. I., Vilizzi, L. (2020). Risk screening of the potential invasiveness of non-native jellyfishes in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110728.
- Landquist, H., Hassellöv, I. M., Rosen, L., Lindgren, J. F., Dahllöf, I. (2013). Evaluating the needs of risk assessment methods of potentially polluting shipwrecks. *Journal of environmental management*, 119, 85-92.
- Landquist, H., Rosén, L., Lindhe, A., Norberg, T., Hassellöv, I. M., Lindgren, J. F., Dahllöf, I. (2014). A fault tree model to assess probability of contaminant discharge from shipwrecks. *Marine pollution bulletin*, 88(1-2), 239-248.
- Mancini, G., Casoli, E., Ventura, D., Jona-Lasinio, G., Criscoli, A., Belluscio, A., Ardizzzone, G. D. (2019). Impact of the Costa Concordia shipwreck on a *Posidonia oceanica* meadow: A multi-scale assessment from a population to a landscape level. *Marine Pollution Bulletin*, 148, 168-181.
- Maser, E., Bünning, T. H., Brenner, M., Van Haelst, S., De Rijcke, M., Müller, P., Wichert, U., Strehse, J. S. (2023). Warship wrecks and their munition cargos as a threat to the marine environment and humans: The V 1302 “JOHN MAHN” from World War II. *Science of the total environment*, 857, 159324.
- Medeiros, A. P. M., Ferreira, B. P., Betancur- R, R., Cardoso, A. P. L. R., Matos, M. R. S. B. C., Santos, B. A. (2022). Centenary shipwrecks reveal the limits of artificial habitats in protecting regional reef fish diversity. *Journal of Applied Ecology*, 59, 286– 299.
- Monfils, R., Gilbert, T., Nawadra, S. (2006). Sunken WWII shipwrecks of the Pacific and East Asia: the need for regional collaboration to address the potential marine pollution threat. *Ocean and Coastal Management*, 49, 779–788.
- Nairobi, 2007. The Nairobi International Convention on the Removal of Wrecks. Adopted Nairobi. (18 May 2007 Published by TSO (The Stationery Office) and available from: Online www.tsoshop.co.uk) pp. 23.
- Parker, A. J. (1984). Shipwrecks and ancient trade in the Mediterranean.

Parliamentary Assembly. The Environmental Impact of Sunken Shipwrecks. Resolution n. 1869, Final version. Text Adopted by the Standing Committee, Acting on Behalf of the Assembly, on 9 March 2012

Peirano, A. (2013). Wrecks on the bottom: Useful, ecological sentinels? *Marine Technology Society Journal*, 47(3), 118-127.

Piazzzi, L., Cecchi, E., Gennaro, P., Penna, M., Trabucco, B., Ceccherelli, G. (2020). Spread of non-indigenous macroalgae and disturbance: Impact assessment of the Costa Concordia shipwreck (Giglio Island, Italy) using the ALEX index. *Ocean & Coastal Management*, 183, 104999.

Quigg, A., Parsons, M., Bargu, S., Ozhan, K., Daly, K. L., Chakraborty, S., Kamalanathan, M., Erdner, D., Cosgrove, S., Buskey, E. J. (2021). Marine phytoplankton responses to oil and dispersant exposures: Knowledge gained since the Deepwater Horizon oil spill. *Marine Pollution Bulletin*, 164, 112074.

Renzi, M., Romeo, T., Guerranti, C., Perra, G., Canese, S., Consoli, P., Focardi, E.S., Berti, C., Sprovieri, M., Gherardi, S., Salvagio, D., Giaramita, L., Esposito, V., Battaglia, P., Giacobbe, S., Andaloro, F. (2017). Are shipwrecks a real hazard for the ecosystem in the Mediterranean Sea?. *Marine Pollution Bulletin*, 124(1), 21-32.

Rogowska, J., Kudlak, B., Tsakovski, S., Gałuszka, A., Bajger-Nowak, G., Simeonov, V., Konieczka, P., Wolska, L., Namieśnik, J. (2015). Surface sediments pollution due to shipwreck s/s “Stuttgart”: a multidisciplinary approach. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 29, 1797-1807.

Sánchez-Caballero, C. A., Borges-Souza, J. M., Abelson, A. (2021). Can wrecks serve as exploitable surrogate habitats for degraded natural reefs?. *Marine Environmental Research*, 169, 105399.

Scharsack, J. P., Koske, D., Straumer, K., Kammann, U. (2021). Effects of climate change on marine dumped munitions and possible consequence for inhabiting biota. *Environmental Sciences Europe*, 33(1), 102.

Şensurat-Genç, T., Lök, A., Özgül A., Oruç, A. Ç. (2022). No effect of nearby natural reef existence on fish assemblages at shipwrecks in the Aegean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 102,613–626.

Shah, G., Soni, V. (2024). Comprehensive Insights into the Impact of Oil Pollution on the Environment. *Regional Studies in Marine Science*, 103516.

Simon, T., Joyeux, J. C., Pinheiro, H. T. (2013). Fish assemblages on shipwrecks and natural rocky reefs strongly differ in trophic structure. *Marine environmental research*, 90, 55-65.

Smith, R. W., Vlahos, P., Tobias, C., Ballentine, M., Ariyaratna, T., Cooper, C. (2013). Removal rates of dissolved munitions compounds in seawater. *Chemosphere*, 92(8), 898-904.

de Oliveira Soares, M., Salani, S., Paiva, S. V., Braga, M. D. A. (2020). Shipwrecks help invasive coral to expand range in the Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 158, 111394.

Soltwedel, T., Rapp, J. Z., Hasemann, C. (2023). Impact of local iron enrichment on the small benthic biota in the deep Arctic Ocean. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1118431.

Taylor, J. R., DeVogelaere, A. P., Burton, E. J., Frey, O., Lundsten, L., Kuhnz, L. A., Whaling, P. J., Lovera, C., Buck, K. R., Barry, J. P. (2014). Deep-sea faunal communities associated with a lost intermodal shipping container in the Monterey Bay National Marine Sanctuary, CA. *Marine Pollution Bulletin*, 83(1), 92-106.

Simon, T., Joyeux, J. C., Pinheiro, H. T. (2013). Fish assemblages on shipwrecks and natural rocky reefs strongly differ in trophic structure. *Marine environmental research*, 90, 55-65.

.

Van der Schyff, V., Du Preez, M., Blom, K., Kylin, H., Yive, N. S. C. K., Merven, J., Raffin, J., Bouwman, H. (2020). Impacts of a shallow shipwreck on a coral reef: A case study from St. Brandon's Atoll, Mauritius, Indian Ocean. *Marine environmental research*, 156, 104916.

Viarengo, A., Dondero, F., Pampanin, D. M., Fabbri, R., Poggi, E., Malizia, M., Bolognesi, C., Perrone, E., Gollo, E., Cossa, G. P. (2007). A biomonitoring study assessing the residual biological effects of pollution caused by the HAVEN wreck on marine organisms in the Ligurian sea (Italy). *Archives of environmental contamination and toxicology*, 53, 607-616.

Whittington, M., Zhang, A., & Campion, D. (2017, May). To remove or not to remove? Dealing with pollution risks from ship wrecks. In *International Oil Spill Conference Proceedings* (Vol. 2017, No. 1, pp. 457-477). International Oil Spill Conference.

