



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in **Ingegneria Meccanica**

Strategie per la riduzione dell' impatto ambientale

Strategies for reducing environmental impact

Relatore: Chiar.mo

Prof. **Archimede Forcellese**

Tesi di Laurea di:

Emanuele Marozzi

A.A. 2022 / 2023

Strategie per ridurre l'impatto ambientale

Fin dai tempi della scuola elementare il nostro sogno era quello di azzerare il problema dell'inquinamento e dell'impatto ambientale, e si discuteva alla festa degli alberi che si teneva ogni anno allo scopo di piantare nuove piante, convinti che queste, grazie alla fotosintesi clorofilliana, e non solo quella, potessero risolvere tutti i problemi del mondo.

In età più matura, adolescenziale, si sognava di realizzare e mettere in pratica il moto perpetuo, e magari costruire un motore ad energia rinnovabile che non consumasse niente, poi ci fu insegnato che ciò purtroppo non era possibile.

NULLA SI CREA, NULLA SI DISTRUGGE, TUTTO SI TRASFORMA

E' solo il Primo Principio della Termodinamica, ma per alcuni è diventato una religione, perché non c'è niente di più folle di smettere di sognare, e niente di più avvilente di smettere di studiare e di adoperarsi per realizzare i propri sogni: qualsiasi essi siano.

Thomas Edison ha dovuto fallire migliaia di volte prima di giungere ad una soluzione funzionante, ma se si fosse arreso, se avesse desistito, se avesse lasciato perdere per evitare che qualche invidioso, o ignorante che lo circondasse, lo considerasse pazzo o folle, oggi saremmo stati al buio, e di certo non avremmo avuto tutto ciò che da quella scoperta ne consegue: persino i pixel dei monitor dei nostri computer e i dei nostri telefoni o televisori, altri non sono che una nuova tecnologia frutto di quella scoperta. Siate Folli, Siate Affamati... celebre il discorso di chi ha indubbiamente interpretato questo sentimento più di altri nel secolo scorso.

Nello stesso discorso si parlava di collegare i puntini, come se gli eventi della vita di ogni persona non fossero casuali ma tappe di un disegno che verrà svelato di volta in volta, e ogni fase della vita sia propedeutica alla successiva.

Giunto all' IRBIM di Ancona: istituto del CNR finalizzato alla ricerca sulla Biologia e Biotecnologia Marina, dove ho incontrato ricercatori che si occupavano di strategie per ridurre i consumi delle navi da pesca, con i quali ho iniziato una proficua collaborazione che mi ha portato a scegliere l'argomento di questo elaborato.

La prima strategia che verrà analizzata sarà una riflessione su uno studio sperimentale eseguito dall' Ingegnere Emilio Notti a bordo dei grandi pescherecci che usualmente adoperano dei gruppi elettrogeni per i fabbisogni di corrente elettrica a bordo: si è

pensato di installare su questi un sistema di Ciclo Rankine a fluido Organico. Che verrà per brevità definito con l'acronimo ORC.

I colleghi del CNR che hanno svolto questa sperimentazione hanno pensato di applicare tale sistema su tre tipologie diverse di pescherecci ma di condurre un'analisi approfondita dei dati su una in particolare, implementando le valutazioni fatte in modo simulato: si è cercato di fare un'analisi sia sul piano tecnico che ambientale di quelle che potevano essere le conseguenze positive di tale installazione. Le prestazioni energetiche dell'imbarcazione del caso di studio sono state descritte mediante un approccio comparativo, basato su tre diverse fasi di monitoraggio.

La fase di monitoraggio è stata alquanto complessa per la qualità, la moltitudine, e la precisione dei dati raccolti, per questo sono stati usati dei software e dei database appositi per l'analisi e lo studio di questi al fine di poter poi fare delle simulazioni numeriche basate su delle battute di pesca, reali o ipotizzate, e così arrivare a delle conclusioni verosimili.

Per lo sviluppo del sistema di monitoraggio e del software di raccolta dati, è stata usata un'imbarcazione prototipo, situata ad Ancona (Italia), dotata di una versione preliminare del sistema di raccolta dati.

Il fatto che la nave fosse accessibile ad Ancona ha permesso un rapido sviluppo e ottimizzazione del software e degli strumenti. Inoltre, lavorando la nave prototipo a terra, l'equipaggio è stato quotidianamente in contatto con il personale del CNR a bordo responsabile dello sviluppo del sistema di monitoraggio.

La robustezza e l'affidabilità del sistema di monitoraggio erano essenziali per garantire la coerenza dei dati raccolti durante la fase di monitoraggio.

Come imbarcazione prototipo è stato utilizzato il peschereccio italiano "Rapido" (Figura 1). I pescherecci a strascico Rapido sono soliti pescare pectinidi (*Pecten jacobaeus*) nelle zone sabbiose al largo e pesci piatti (*Solea spp.*, *Platichthys flesus*, *Psetta maxima*, *Scophthalmus rhombus*) nelle zone fangose al largo.

Le attrezzature moderne del Rapido consistono in una rete a strascico a trave dentata (Figura 2), in cui un telaio rigido (la trave) viene strascicato ad alta velocità impattando fortemente sul fondale marino e provocando così una grande resistenza aerodinamica. Il motore di propulsione è sempre molto carico. I principi e le procedure di elaborazione dei dati raccolti durante la fase di monitoraggio sono stati concepiti e testati utilizzando i dati raccolti dalla nave prototipo. Dal 2015 è stato installato e avviato un prototipo di sistema di monitoraggio.

Come seconda strategia, sempre derivante da una ricerca svoltasi all'interno del CNR IRBIM si è analizzato uno studio fatto dal Dottor Antonello Sala che ha potuto

verificare che andando a modificare la struttura delle reti da pesca, aggiungendo a queste dei fulcri centrali, sarà possibile aumentare lo spazio di mare spazzato con lo strascico ma senza aumentare lo sforzo in maniera lineare: praticamente è possibile “raddoppiare” la dimensione delle reti da pesca, con ovviamente un impatto positivo molto forte sulla quantità e sulle tipologie del pescato, aumentando i consumi di carburante della nave di una quantità molto inferiore a quella relativa al beneficio, e di conseguenza riducendo di molto il consumo di carburante relativo in proporzione all’ area di superficie marina spazzata e alla proporzionale quantità di pescato.

Come terza strategia, sulla base di una mia idea non del tutto accolta e condivisa, verrà valutata l’ipotesi di installare sulle navi, o su delle boe marine, delle turbine eoliche, o delle vele fotovoltaiche, e degli aquiloni capaci di intercettare il vento ad alta quota e sfruttarlo ai fini del traino della nave.

Nonostante il lavoro sia svolto in un istituto che si occupa principalmente di tutto ciò che riguardi la pesca e il mare, in questa ricerca verranno anche valutate ipotesi e strategie finalizzate a ridurre inquinamento e impatto ambientale che esulino anche il discorso marino, ma poiché in tale istituto si è vocati ad una materia come la biologia non potrò non farmi coinvolgere e portare in questa ricerca anche argomenti che esulano dall’ ingegneria meccanica e sfociano nella biologia al fine di trovare un approccio pluridisciplinare mirato a raggiungere l’ obiettivo finale di trovare strategie finalizzate a risolvere quello che oggi sembra essere diventato un problema emergenziale, per questo si cercherà di portare soluzioni che possano coinvolgere non solo la mobilità in mare, e soluzioni che possano vedere il nostro pianeta e la sua gestione in maniera diversa da come è stata vista dai più finora, senza inventare nulla ma semplicemente ipotizzando soluzioni basate sui principi basilari della scienza.

Per questo si cercherà di ipotizzare la possibilità di utilizzo delle celle a combustibile alcaline piuttosto che i motori endotermici, e la coltivazione di alcune piante: sia in terra che in mare, al fine di impattare positivamente sulla salute e sull’ ambiente.

1) Studio di un sistema di Ciclo Rankine Organico (ORC) per nave 6

Contenuti

1.	INTRODUZIONE	6
2.	PESCHERECCI MONITORATI	7
2.1.	PESCHERECCIO RAPIDO ITALIANO.....	6
2.2.	VIVIER CRABBER IRLANDESE.....	12
2.3.	PESCA A STRASCICO A DIVERGENTI	17
2.4.	IL CASO DI STUDIO DELLA NAVE.....	20
2.5.	STRATEGIA DI MONITORAGGIO	23
3.	EFFETTO DELL'IMPLEMENTAZIONE DI UTENZE ELETTRICHE SULL'IMBARCAZIONE DEL CASO DI STUDIO.....	26
3.1.	CONFRONTO TRA LE ZONE DI PESCA.....	26
3.2.	DEFINIZIONE DELLA DOMANDA ELETTRICA DELL'IMBARCAZIONE DEL CASO DI STUDIO.....	28
3.3.	EFFETTI SUL CONSUMO DI CARBURANTE	32
4.	VALUTAZIONE DELL'IMPATTO TECNICO DEL SISTEMA ORC	39
4.1.	SINTESI DELL'ARCHITETTURA DEL SISTEMA ORC.....	39
4.2.	VALUTAZIONE DELL'IMPATTO TECNICO.....	41
4.1.	ANALISI DEI DATI MONITORATI PER LA SIMULAZIONE NUMERICA E LA MODELLAZIONE	43
4.1.1.	<i>Profilo della missione</i>	43
4.1.2.	<i>Velocità della nave e consumo di carburante (motore principale)</i>	48
4.1.3.	<i>Ripartizione della domanda elettrica</i>	49
4.1.4.	<i>Prestazioni ORC</i>	50
4.1.5.	<i>Produzione di energia elettrica e consumo di combustibile del gruppo elettrogeno</i>	52
5.	VALUTAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE	60
5.1.	SINTESI DELLE EMISSIONI DI GAS SERRA NELLA PESCA.....	60
5.2.	METODOLOGIA PER LA STIMA DELLE EMISSIONI DI GAS SERRA.....	62
5.3.	L'EFFETTO DEL SISTEMA ORC SULL'IMPATTO AMBIENTALE DELL'IMBARCAZIONE DEL CASO DI STUDIO.....	62
6.	SINTESI DELL'ANALISI DEI RISULTATI E DEGLI INDICATORI DI PERFORMANCE	67
7.	DISCUSSIONE.....	72

2) Strategia per rendere le reti da strascico meno impattanti 75

3) Studio per l'utilizzo dell' Energia Eolica in mare 99

1	Prefazione	99
2	Introduzione.....	101
3	Studio di fattibilità.....	102

4) Conclusioni Finali 138

5) Bibliografia 144

1. Studio di un sistema di Ciclo Rankine Organico (ORC) per nave

Viene descritto l'impatto tecnico e ambientale del sistema ORC installato a bordo del peschereccio del caso di studio durante la fase di implementazione. In primo luogo, viene riportata una premessa del lavoro svolto per il monitoraggio della nave caso studio e delle imbarcazioni coinvolte prima del peschereccio a strascico italiano.

Segue un'analisi approfondita delle misure effettuate per il caso di studio. L'impatto del sistema ORC è stato discusso dal punto di vista tecnico e ambientale. Le prestazioni energetiche dell'imbarcazione del caso di studio sono state descritte mediante un approccio comparativo, basato su tre diverse fasi di monitoraggio.

La complessità della fase di monitoraggio ha richiesto lo sviluppo di uno strumento di gestione dei dati e di un database, composto da una serie di moduli diversi. Il ruolo dello strumento di gestione dei dati è quello di gestire correttamente l'enorme quantità di dati raccolti e di consentire al software di post-elaborazione di accedere ai dati corretti. Una descrizione dettagliata del software di acquisizione e raccolta dei dati e delle sue caratteristiche è inclusa nel deliverable B2.2 "*Relazione sulla valutazione della qualità dei dati*".

I dati raccolti hanno permesso anche di alimentare lo strumento di simulazione numerica che è stato poi utilizzato per valutare l'opzione di adattamento del sistema ORC. La simulazione numerica si è basata su una specifica battuta di pesca, rappresentativa dell'attività lavorativa media dell'imbarcazione oggetto dello studio.

I dati raccolti sono stati analizzati e discussi. Il profilo energetico della nave lungo le tre fasi di monitoraggio definite ha permesso di valutare l'effettivo impatto del sistema ORC. Per ampliare l'analisi sono stati definiti una serie di indicatori tecnici.

L'impatto ambientale è stato descritto in termini di emissioni di CO₂, secondo gli standard internazionali. L'analisi dell'impatto ambientale si è concentrata sulla definizione di opportuni indicatori e su un'analisi spaziale delle zone di pesca interessate.

2. Pescherecci monitorati

Per lo sviluppo del sistema di monitoraggio e del software di raccolta dati, è stata coinvolta un'imbarcazione prototipo, situata ad Ancona (Italia), dotata di una versione preliminare del sistema di raccolta dati.

Il fatto che la nave sia accessibile ogni settimana ad Ancona ha permesso un rapido sviluppo e ottimizzazione del software e degli strumenti. Inoltre, lavorando la nave prototipo a terra, l'equipaggio è stato quotidianamente in contatto con il personale del CNR responsabile dello sviluppo del sistema di monitoraggio.

La robustezza e l'affidabilità del sistema di monitoraggio erano essenziali per garantire la coerenza dei dati raccolti durante la fase di monitoraggio, considerando che il primo caso di imbarcazione candidata (il peschereccio a strascico irlandese) avrebbe lavorato per molti giorni nel Mare d'Irlanda settentrionale, prima di rientrare in porto senza la possibilità di mantenere i contatti con l'equipaggio.

Inoltre, eventuali problemi tecnici o guasti dei dispositivi installati non sarebbero stati risolti dall'interazione remota con lo strumento del sistema di monitoraggio e avrebbero comportato un forte ritardo nella fase di monitoraggio.

Dopo la conferma del caso di studio (Amy Jane II, vivier crabber) il sistema di monitoraggio, inizialmente progettato per un peschereccio a strascico pelagico, è stato notevolmente riadattato. L'architettura del sistema è stata modificata per monitorare due motori ausiliari contemporaneamente invece di un unico motore principale, mentre la produzione di calore e i relativi parametri sono stati riferiti al motore principale.

2.1. Peschereccio Rapido italiano

Come imbarcazione prototipo è stato utilizzato il peschereccio italiano "Rapido" (Figura 1). I pescherecci a strascico Rapido sono soliti pescare pectinidi (*Pecten jacobaeus*) nelle zone sabbiose al largo e pesci piatti (*Solea spp.*, *Platichthys flesus*, *Psetta maxima*, *Scophthalmus rhombus*) nelle zone fangose al largo.

I moderni attrezzi Rapido assomigliano a una rete a strascico a trave dentata (Figura 2), in cui un telaio rigido (la trave) viene strascicato ad alta velocità impattando fortemente sul fondale marino e provocando così una grande resistenza aerodinamica. Il motore di propulsione è sempre molto carico. I principi e le procedure di elaborazione dei dati raccolti durante la fase di monitoraggio sono stati concepiti e testati utilizzando i dati raccolti dalla nave prototipo. Dal 2015 è stato installato e avviato un prototipo di sistema di monitoraggio.

Sulla base dei dati raccolti nei primi mesi, è stato definito un protocollo di analisi che si riferisce essenzialmente all'andamento periodico della velocità della nave e del consumo di carburante. Sulla base dell'andamento periodico dei dati raccolti, è stata ottimizzata la procedura di identificazione delle fasi di pesca.

La descrizione della procedura di analisi è riportata nelle Figure 5 e 6, che si riferiscono alla rete da traino italiana "Rapido". Il comportamento bimodale della nave prototipo è rappresentato nella Figura 5, in termini di velocità della nave. La prima modalità, compresa tra 6 e 8 nodi, si riferisce alla fase di pesca a strascico, mentre la seconda modalità, relativa alla fase di navigazione, è compresa tra 10 e 12 nodi.

L'intervallo di velocità individuato è stato adottato per estrapolare i dati relativi al consumo di carburante, che ha portato a un intervallo tra 95-170 l/h per la fase di pesca a strascico (Figura6). I record non inclusi nei cluster relativi alle fasi di pesca a strascico sono stati considerati come fase di navigazione. Un terzo algoritmo è stato applicato alle cale identificate per controllare la durata di ogni fase di pesca a strascico e di crociera e per identificare potenziali anomalie, come riportato nella Figura 7 per la fase di pesca a strascico.

La durata effettiva di ogni traino è stata determinata confrontando la velocità e il consumo di carburante per ogni record e gli intervalli di velocità e consumo di carburante sopra menzionati. Per discriminare i traini successivi, gli intervalli di tempo superiori a 10 minuti tra due registrazioni indicavano la fine di un traino e l'inizio del successivo.

Figura 1. Il peschereccio italiano "Rapido" coinvolto come imbarcazione prototipo per il sistema di monitoraggio.

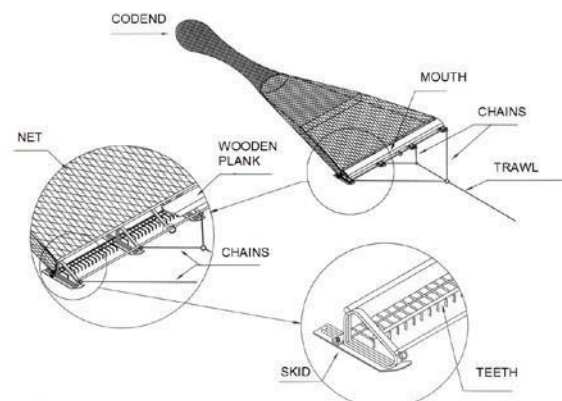
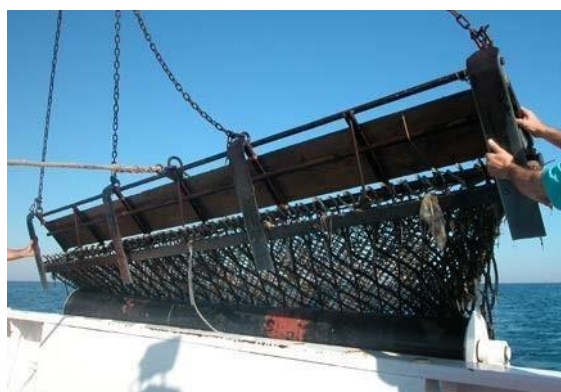


Figura 2. Schema della rete a strascico commerciale Rapido utilizzata nel Mar Adriatico centro- settentrionale. Si noti l'asse di legno inclinato montato davanti al telaio metallico che funge da depressore, denti e slitte (per gentile concessione di Lucchetti e Sala, 2012).



Figura 3. Sala macchine del peschereccio italiano Rapido "Midway" utilizzato come imbarcazione prototipo per il sistema di monitoraggio. A destra, i sensori del flusso di carburante (cerchiati in rosso), che misurano il consumo di carburante del motore principale.

Figura 4. Misuratori di portata del carburante sul motore ausiliario del peschereccio Rapido italiano "Midway".

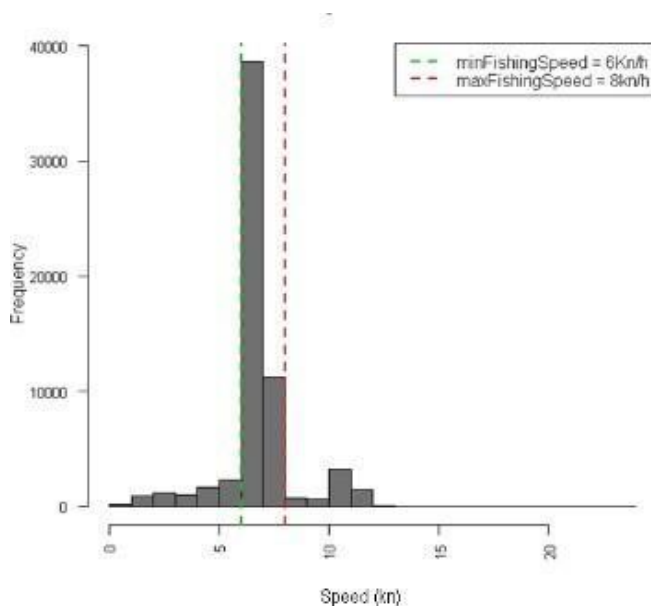


Figura 5. Profilo di velocità del peschereccio a strascico Rapido italiano (TBB). Considerando le caratteristiche del peschereccio e il comportamento della pesca del TBB, per identificare l'attività di pesca è stato scelto un intervallo compreso tra 6 e 8 kn.

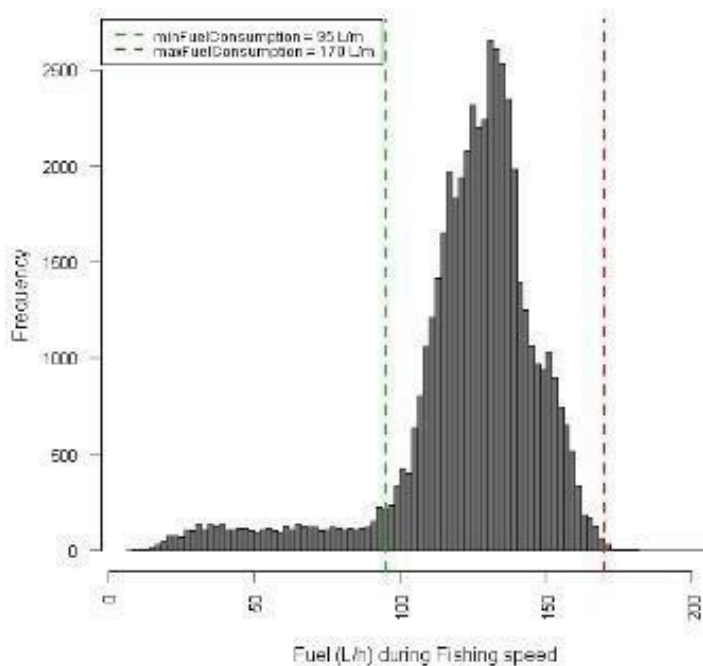


Figura 6. Profilo del consumo di carburante durante la fase di pesca a strascico dalle registrazioni identificate

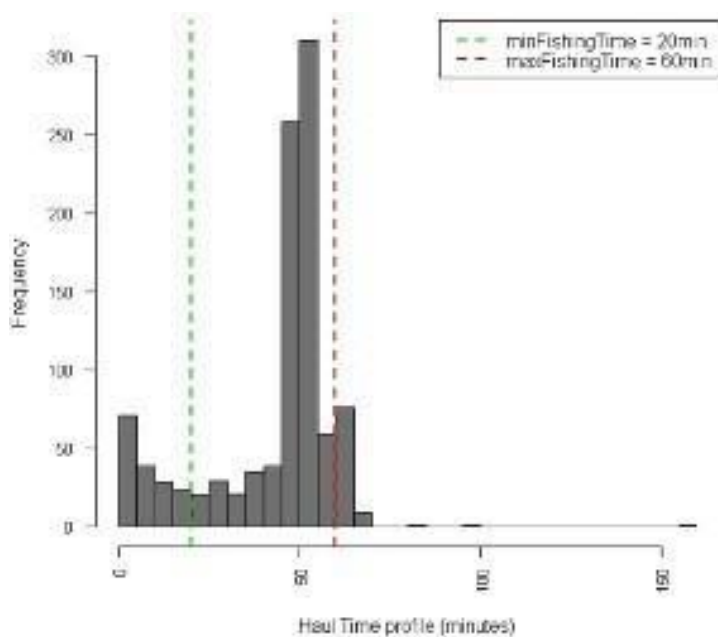


Figura 7. Distribuzione dell'intervallo di durata di ciascuna fase di pesca a strascico del peschereccio italiano Rapido. L'intervallo è compreso tra 20 e 60 minuti. La durata delle cale variava in media tra 40 e 50 minuti.

2.2. Vivier Crabber irlandese

La pesca a granchio è una tecnica di pesca statica, per catturare i granchi che cadono nelle nasse senza alcuna azione da parte dell'attrezzo. Durante la fase di navigazione, il motore principale è quello che consuma più carburante, mentre durante le operazioni di salpamento e di tiro il motore principale è al minimo, mentre i macchinari di coperta e le pompe dell'acqua sono alimentati da motori ausiliari.

Il tempo di funzionamento complessivo è di circa 7500 ore/anno, quindi la nave ha una naturale predisposizione al risparmio di carburante tramite il recupero del calore. Per un'attività di 24 ore, circa 10 ore sono dedicate alla navigazione e 14 ore al traino delle nasse.

Facendo riferimento al peschereccio irlandese Vivier coinvolto nel progetto (Figura 8), una tipica battuta di pesca dura in media 6 giorni, a seconda del pescato, e 1 giorno per tornare in porto. Il carico del motore principale ha principalmente due livelli durante l'attività di pesca: un livello basso dedicato alla pesca e un livello medio dedicato alla navigazione.

La Figura 9 riporta un esempio della tipica attività di pesca svolta dal vivier crabber. Durante la navigazione, il carico del motore è influenzato dalle condizioni del mare. La raccolta regolare dei dati del motore da parte dell'equipaggio è stata utilizzata per stimare la variazione del carico del motore durante la navigazione e la pesca per queste diverse condizioni.

Il progetto del sistema ORC ha considerato una condizione di carico medio del motore tra le due condizioni dell'imbarcazione (Figura 10):

- Pesca: regime del motore: da 1000 a 1200 giri/minuto/carico del motore: 30% (~135kW)
- Navigazione: regime motore: 1400 giri/min/carico motore: 60% (~485kW)

La nave è stata monitorata da aprile a luglio 2016, per valutare il profilo energetico. Il sistema di monitoraggio è stato adattato per raccogliere i dati del carburante consumato da due motori ausiliari, che forniscono energia a tutte le utenze elettriche, mentre i dati raccolti dal GPS sono stati adottati per identificare le singole fasi di lavoro.

Nella Figura 12 e nella Figura 13 sono rappresentati rispettivamente il consumo di carburante del motore ausiliario utilizzato e l'energia elettrica erogata durante il periodo di monitoraggio. Su base giornaliera, il consumo di carburante del motore ausiliario si aggira intorno ai 9,7 l/h. L'andamento riportato nella Figura 12 evidenzia come il consumo di carburante del motore ausiliario e di conseguenza la richiesta di

energia delle utenze elettriche sia costante nel corso dei giorni.

Il consumo elettrico riportato nella Figura 13 descrive l'andamento di una singola battuta di pesca, per mostrare come si distribuisce la domanda di energia delle utenze elettriche in una comune giornata di pesca. Durante la navigazione, la domanda elettrica proviene principalmente dalle pompe per il riciclo dell'acqua di mare nelle vasche in cui vengono mantenuti vivi i granchi.

Durante la ripresa/il trasporto delle pentole, altri utilizzatori elettrici come le pompe idrauliche della gru, l'argano e le luci aumentano la richiesta di energia. In questa fase l'andamento è variabile con le condizioni operative di queste utenze: luci accese/spente, gru che alterna periodi di manovra a periodi di sosta, ecc.

Figura 8. Il vivier crabber "AMY JANE II" selezionato per il caso di studio dimostrativo.



Figura 9. Zona di pesca del peschereccio vivier crabber (AMY JANE II) durante il periodo di monitoraggio. Mappa di sfondo tratta da: CIEM. 2011. Relazione del gruppo di lavoro sulla biologia e la storia di vita dei granchi (WGCRAB), 7-10 giugno 2011, sede centrale del CIEM, Copenaghen, Danimarca. ICES CM 2011/SSGEF: 20, 106 pp.

Figura 10. Carico del motore durante il periodo di pesca

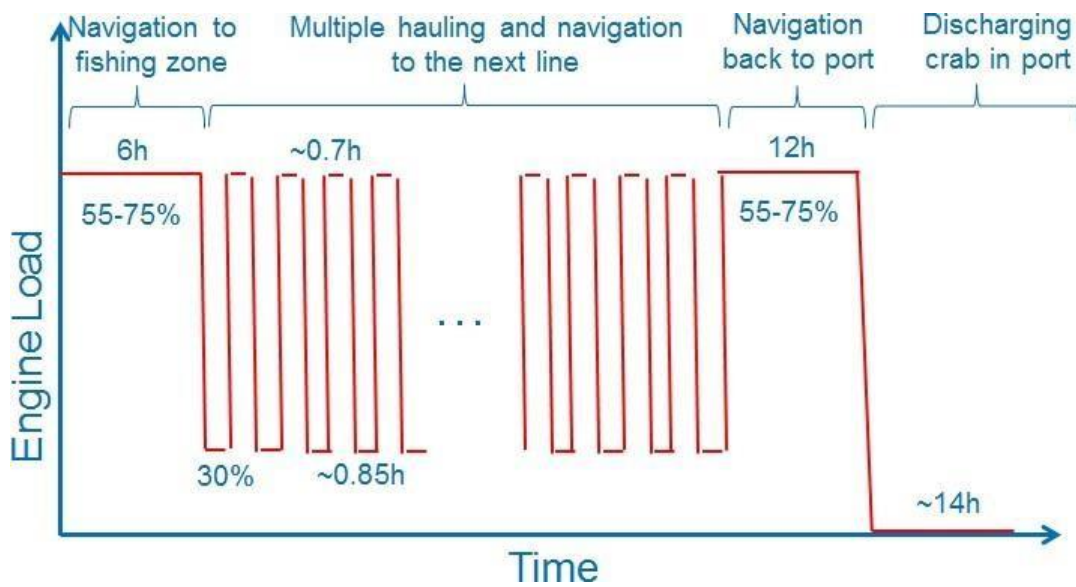
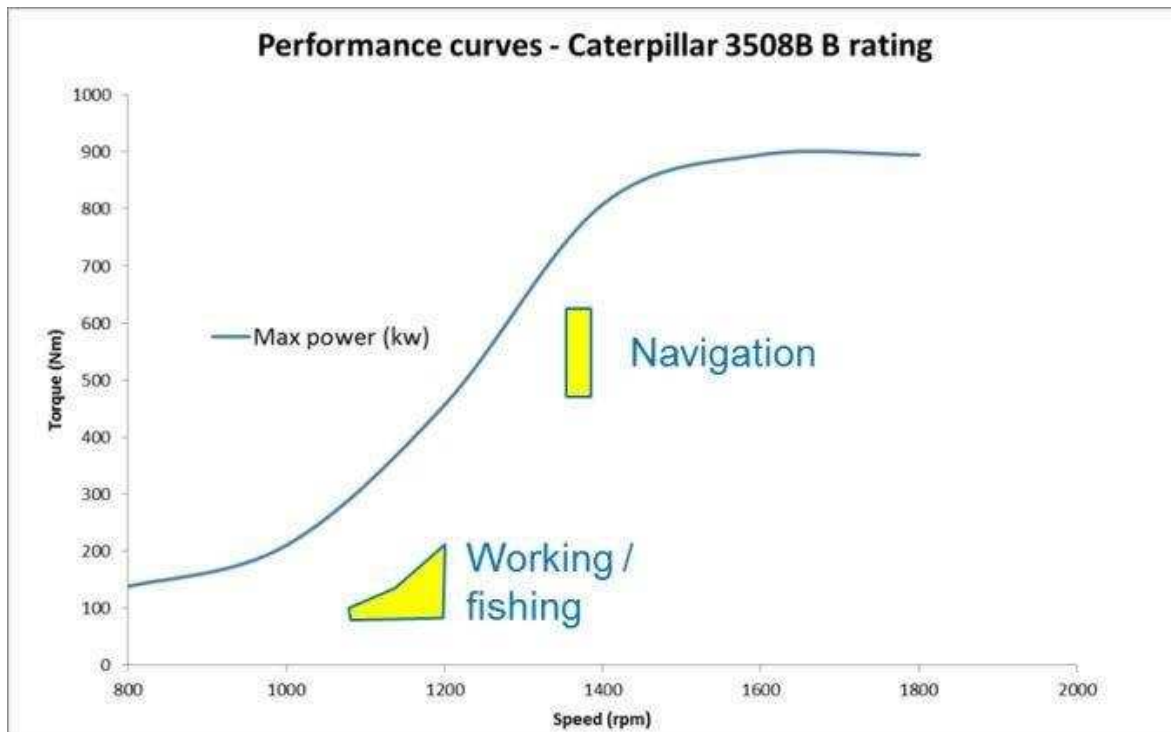


Figura 11. Profilo operativo del vivier crabber ricavato dallo strumento di simulazione fornito dall'IFPEN.

Figura 12. Valori medi del consumo di carburante del motore ausiliario del crabber Irish Vivier su base giornaliera. In media, il consumo di carburante durante l'intero periodo di monitoraggio (aprile-giugno 2016) è stato di circa 9,7 l/h.

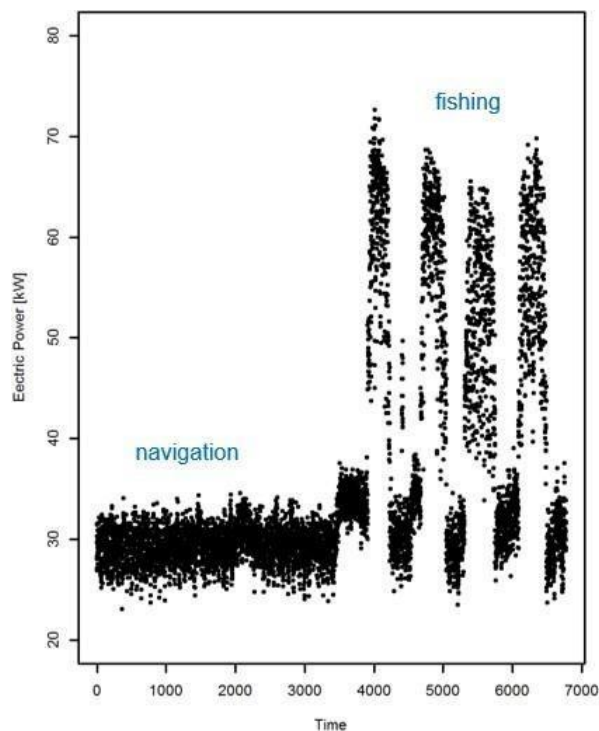
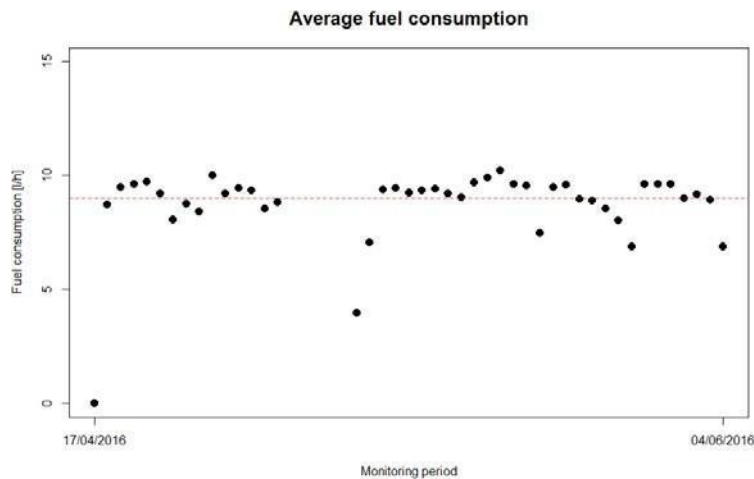


Figura 13. Andamento del consumo di energia elettrica dell'Irish vivier crabber. Durante la navigazione, il consumo elettrico è stabile, poiché la maggior parte della richiesta di energia proviene dalle tre pompe idrauliche. Durante le operazioni di tiro/traino le pompe idrauliche, azionate elettricamente, impongono una richiesta di potenza maggiore, fino a 70 kW.

2.3. Pesca con reti a strascico a divergenti

La pesca a strascico nel Mediterraneo è considerata una pesca su piccola scala, in quanto la flotta peschereccia è caratterizzata da un elevato numero di piccole imbarcazioni. In realtà, questa caratteristica è comune a tutta la flotta peschereccia del Mediterraneo.

Fondamentalmente, le reti a strascico utilizzate sul fondo sono a forma di imbuto, con pannelli direte laterali estesi in avanti a formare delle ali che guidano il pesce raccolto al centro dell'ingresso della rete (bocca della rete). I requisiti fondamentali per l'utilizzo della rete a strascico sono una potenza sufficiente per il traino della rete, un sistema per mantenere aperta la bocca della rete durante il traino, un sistema di fili per collegare la rete e l'attrezzo alla fonte di energia di traino e la capacità di trainare e sollevare l'attrezzo.

L'attrezzatura comune per le reti a strascico (OTB) implica che un peschereccio traini la rete attraverso due fili due otter board (porte della rete da traino) che vengono utilizzati per stendere la bocca della rete orizzontalmente (Figura 14).

Recentemente, alcuni pescatori del Mediterraneo si sono interessati ai moderni modelli di attrezzi da pesca. Invece di un'unica rete, il nuovo progetto, denominato "twin rig trawl" (OTT), è composto da due reti, chiamate gemelle (Figura 15). L'impiego e le tecniche sono simili a quelle della pesca a strascico, anche se la resistenza aerodinamica dell'attrezzo è superiore del 10-20% rispetto a quella di una comune rete a strascico.

La maggiore resistenza aerodinamica dell'attrezzo da pesca causa un aumento del carico del motore di propulsione, con conseguente aumento del consumo di carburante. Nel caso di reti a strascico gemelle, il traino di due reti affiancate aumenta l'area effettiva spazzata e, di conseguenza, le catture e l'impatto sul fondo.

Oltre alla nave caso studio e alla nave prototipo, nell'analisi è stata presa in considerazione anche una nave a doppia rete a strascico (Albatros Selvaggio) come potenziale confronto con la nave a strascico e per estendere eventualmente i risultati a un altro segmento della flotta peschereccia. Il peschereccio gemello è stato coinvolto in un piano di monitoraggio del consumo di carburante dal 2015.

Figura 14. Peschereccio a strascico a divergenti. L'attrezzo da pesca viene trainato mentre si trova sul fondale marino. La resistenza aerodinamica dell'attrezzo da pesca impone al motore principale un carico elevato, simile a quello imposto durante la navigazione, per raggiungere una velocità elevata.

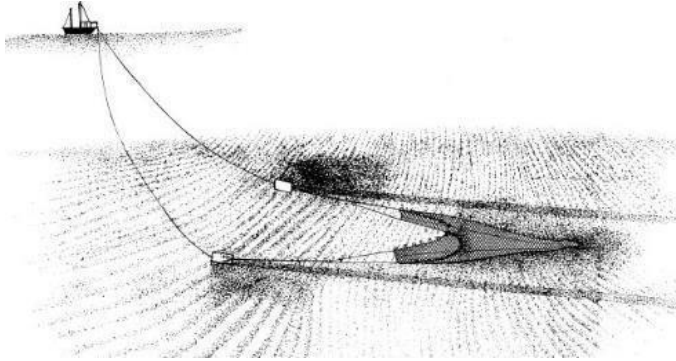
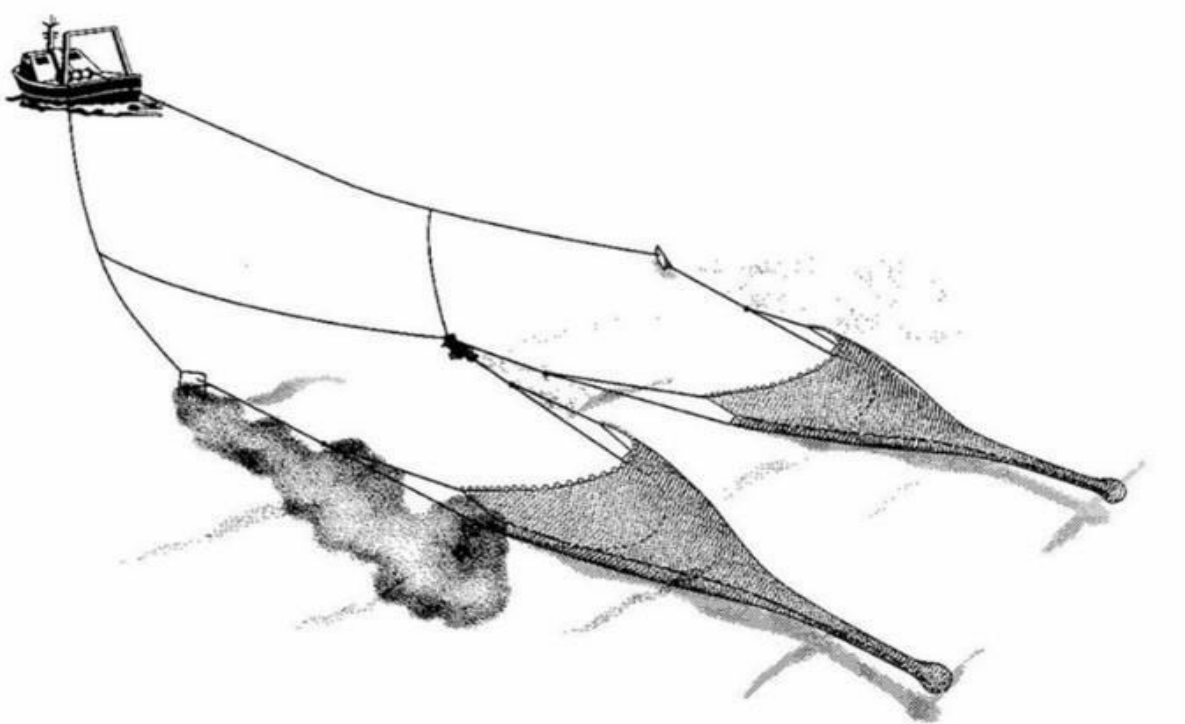


Figura 15. La rete a divergenti gemelle è un'evoluzione moderna della comune rete a divergenti di fondo; per aumentare l'area spazzata dall'attrezzo per unità di tempo. Il sartiame dell'attrezzo è più pesante della comune rete a strascico e questo comporta un maggiore consumo di carburante, a causa dell'aumento del carico del motore durante la pesca a strascico.



2.4. Il caso di studio della nave

L'ultimo caso di studio coinvolto nel progetto Efficient Ship è stato un peschereccio a strascico italiano, situato nel porto di Ancona (Italia) e operante nel Mare Adriatico settentrionale e centrale (Figura 16). Sulla base delle caratteristiche generali della flotta di pesca a strascico a livello europeo, la nave coinvolta può essere considerata rappresentativa in termini di dimensioni, potenza, tipo di attrezzo da pesca, tecnica di pesca e impiego. Di seguito sono elencate le principali caratteristiche:

- Nome: Orizzonte
- Identità del servizio mobile marittimo (MMSI): 47081740
- Dimensioni principali: Lunghezza fuori tutto 22 m; Larghezza 6 m
- Motore di propulsione: Mitsubishi S6A3-MPTK C - 18,6L V6 - 405kW a 1840 giri/min.
- Motore ausiliario: utilizzato solo per sicurezza, non in funzione durante la normale attività.
- Consumo di energia elettrica: 8kW su 220V monofase e 220V trifase (prodotto da alternatore accoppiato a cinghia al motore di propulsione). Aumento possibile con l'elettificazione degli accessori (pompa dell'acqua, refrigerazione, ecc.).
- Periodo di pesca / zona: Tutto l'anno intorno all'Adriatico
- Funzionamento della nave: 4 giorni/settimana / ~ 5000 ore all'anno / velocità: max 11,5 kn
- Tecnica di pesca: pesca a strascico (motore ad alto carico durante la navigazione e la pesca)

L'attività del peschereccio a strascico può essere raggruppata in due fasi operative principali. Durante la fase di navigazione/crociera (chiamata anche fase di viaggio o di navigazione a vapore), il peschereccio a strascico naviga dal porto alla zona di pesca o torna al porto dalla zona di pesca. La fase di navigazione si svolge ad alta velocità, vicino alla velocità massima, in genere da 9 a 11,5 nodi.

Nella Figura 17 la resistenza all'avanzamento per le condizioni di navigazione e di pesca a strascico di un peschereccio è rappresentata in termini di resistenza specifica, definita come la resistenza a qualsiasi velocità divisa per la resistenza alla velocità massima rispetto alla velocità specifica della nave, che si ottiene come rapporto tra la velocità della nave e la velocità massima della nave.

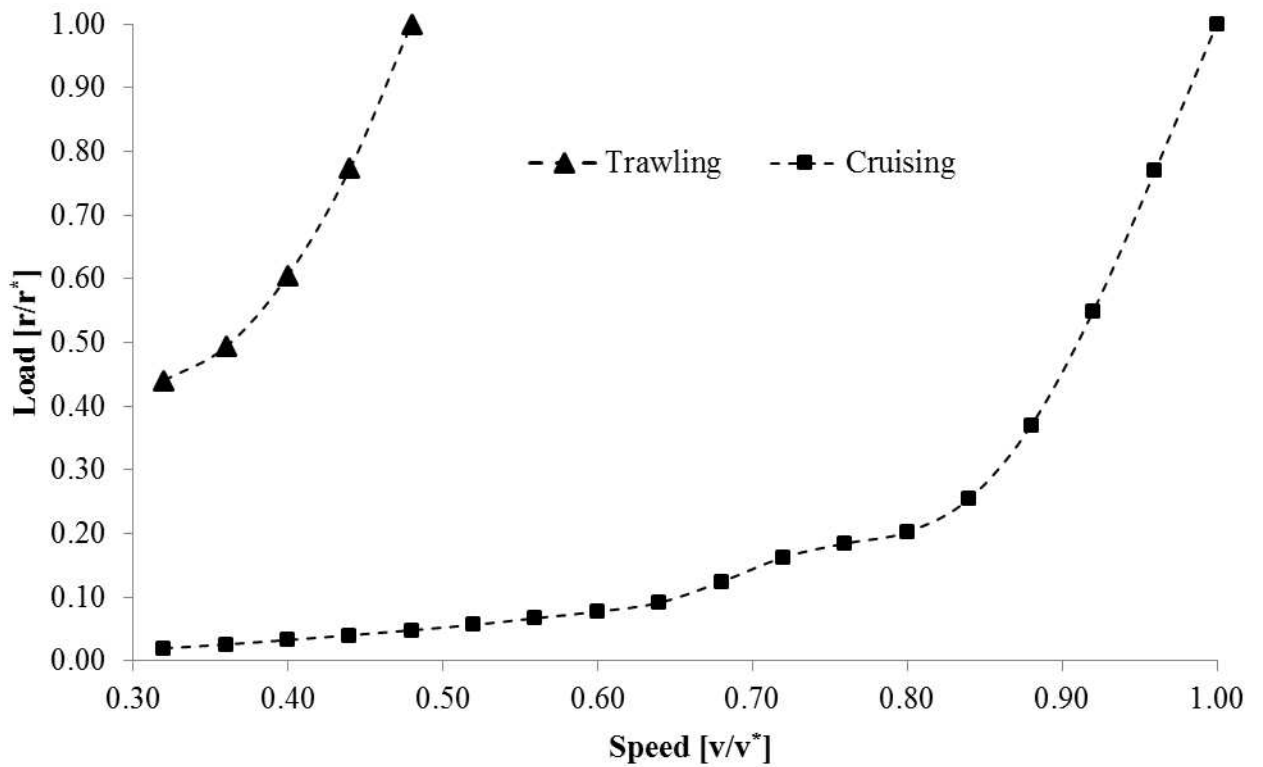
Durante la fase di pesca a strascico, il peschereccio cala l'attrezzo da pesca e inizia a strascicare, per un minimo di 1 ora, fino a 3 ore, a bassa velocità, da 3,5 a 4,0. Per la fase di pesca a strascico, la maggior parte della resistenza è dovuta alla resistenza all'avanzamento dell'attrezzo da pesca, mentre la resistenza dello scafo rappresenta una piccola parte. Entrambe le fasi di lavoro sono caratterizzate da un

elevato carico del motore di propulsione e da un elevato consumo di carburante (Notti e Sala, 2012).

Figura 16. Peschereccio Orizzonte nel porto di Ancona, Italia



Figura 17. Curva di resistenza durante la pesca a strascico e la navigazione a vela. La resistenza r oltre la resistenza massima r^* varia con la velocità v oltre la velocità di progetto v^* .



2.5. Strategia di monitoraggio

La valutazione dell'impatto del sistema ORC si è basata su un approccio comparativo. Sono state monitorate tre diverse configurazioni in tre diversi periodi (vedi Tabella 1).

Nella prima configurazione (fase 1), il motore principale è responsabile dell'alimentazione di tutto il fabbisogno energetico dell'imbarcazione. La fase 1 rappresenta il riferimento per confrontare le variazioni di consumo di carburante relative alle configurazioni della fase 2 e della fase 3.

Il motore ausiliario viene utilizzato raramente, solo per motivi di sicurezza (ad esempio in caso di guasto al motore principale) o per richieste di potenza specifiche quando la nave è in porto per attività di manutenzione. Il motore ausiliario non viene mai utilizzato durante la normale attività di pesca in questa configurazione, pertanto il consumo di carburante è considerato trascurabile in questa configurazione.

La Fase 2 rappresenta una fase intermedia dell'attività di monitoraggio. Lo scopo di questa configurazione intermedia è quello di aumentare la domanda elettrica dell'imbarcazione, passando da un'utenza meccanica a un'utenza elettrica e quindi rendere possibile al sistema ORC di fornire energia elettrica per almeno una parte di tale domanda.

Un certo numero di utilizzatori di energia (pompe dell'acqua, compressore per il frigorifero e il fabbricatore di ghiaccio, ecc.) sono stati sostituiti da dispositivi simili ma azionati elettricamente. In questa configurazione, il motore principale fornisce energia solo per la propulsione, mentre il motore ausiliario alimenta i nuovi dispositivi elettrici.

Il consumo di carburante del motore principale dovrebbe diminuire, mentre quello del motore ausiliario aumenta a causa della richiesta di energia elettrica. Il consumo di combustibile del motore ausiliario è stato incluso nella strategia di monitoraggio e l'intero consumo di combustibile della nave è ora rappresentato dalla somma del consumo di combustibile dei motori principali e ausiliari.

La Fase 3 rappresenta la porzione di attività di monitoraggio durante la quale il sistema ORC è stato attivato. In questa terza fase, l'energia elettrica prodotta dal sistema ORC ha contribuito alla domanda di energia elettrica del serbatoio. La fase 3 è stata suddivisa in sottofase 3a, quando il sistema ORC non era in funzione per vincoli tecnici, e 3b, quando il sistema ORC funzionava correttamente.

Il sistema ORC avrebbe dovuto influire direttamente sul consumo di carburante del motore ausiliario, supportando la produzione di energia elettrica, mentre il motore principale non è influenzato dal sistema ORC.

Tabella 1. Fasi di monitoraggio del peschereccio a strascico Orizzonte.

	Descrizione	Periodo di monitoraggio
Fase 1	Vasca dotata di dispositivi energetici meccanici guidato	Gennaio - giugno 2017
Fase 2	Imbarcazione dotata di dispositivi elettrici per l'energia	Settembre - dicembre 2017
Fase 3	Nave dotata di dispositivi energetici azionati elettricamente e ORC (3a quando il sistema ORC non funziona; 3b quando l'ORC funziona).	Gennaio - giugno 2018

I dati raccolti durante l'intera fase di monitoraggio sono stati raggruppati in tre fasi di monitoraggio secondo la Tabella 1, e analizzati come fase singola. Per ogni fase, i parametri più rappresentativi sono stati mediati per ogni battuta di pesca e fase di lavoro.

L'effetto della nuova configurazione elettrica dell'imbarcazione può essere quantificato confrontando la fase 1 con la fase 2. Questo è necessario anche per identificare un riferimento in termini di domanda di energia elettrica, per un ulteriore confronto con la fase 3.

L'impatto diretto del sistema ORC sul consumo di carburante dell'imbarcazione può essere valutato confrontando le fasi 3a e 3b, poiché le due sottofasi sono state impiegate durante la stessa stagione e la stessa zona di pesca, quindi con condizioni di strato limite comparabili.

3. Effetto dell'implementazione di utenze elettriche sull'imbarcazione oggetto del caso di studio

3.1. Confronto tra le zone di pesca

Una valutazione preliminare delle diverse zone di pesca esplorate durante il periodo di monitoraggio ha permesso una comprensione esaustiva dei dati raccolti e dei risultati dell'analisi.

L'area di pesca della nave del caso di studio durante tutte le fasi di monitoraggio è stata riportata nella Figura 18, che descrive la zona di pesca per ciascuna delle fasi di monitoraggio. Ogni mappa riporta le tracce di pesca a strascico, mentre la scala cromatica delle tracce rappresenta una classe di consumo di carburante. Le zone di pesca appartenenti alle fasi a e 3 sono comparabili, in base alla stessa stagione. Durante la fase 2 le zone di pesca hanno comportato una maggiore attività di pesca a terra.

Considerando la fase 1 come riferimento, durante la fase 2 le zone di pesca sono risultate diverse, più a terra rispetto a quelle risultanti per la fase 1. La fase 3 ha riportato le stesse zone di pesca della fase 1, tuttavia, a causa della presenza di alghe stagionali, la fase di pesca a strascico è stata caratterizzata da un maggiore consumo di carburante del motore principale, come descritto dalla scala cromatica delle tracce di pesca a strascico.

La fase di crociera non è stata rappresentata in termini di tracce, poiché il contributo di questa fase di lavoro all'intero consumo di carburante non può essere rappresentato correttamente in termini di analisi spaziale.

Infatti, la fase di crociera viene condotta senza una velocità o una durata di riferimento, mentre la fase di pesca a strascico viene condotta con un intervallo di velocità più ristretto e con una variazione della durata di ogni fase di pesca a strascico.

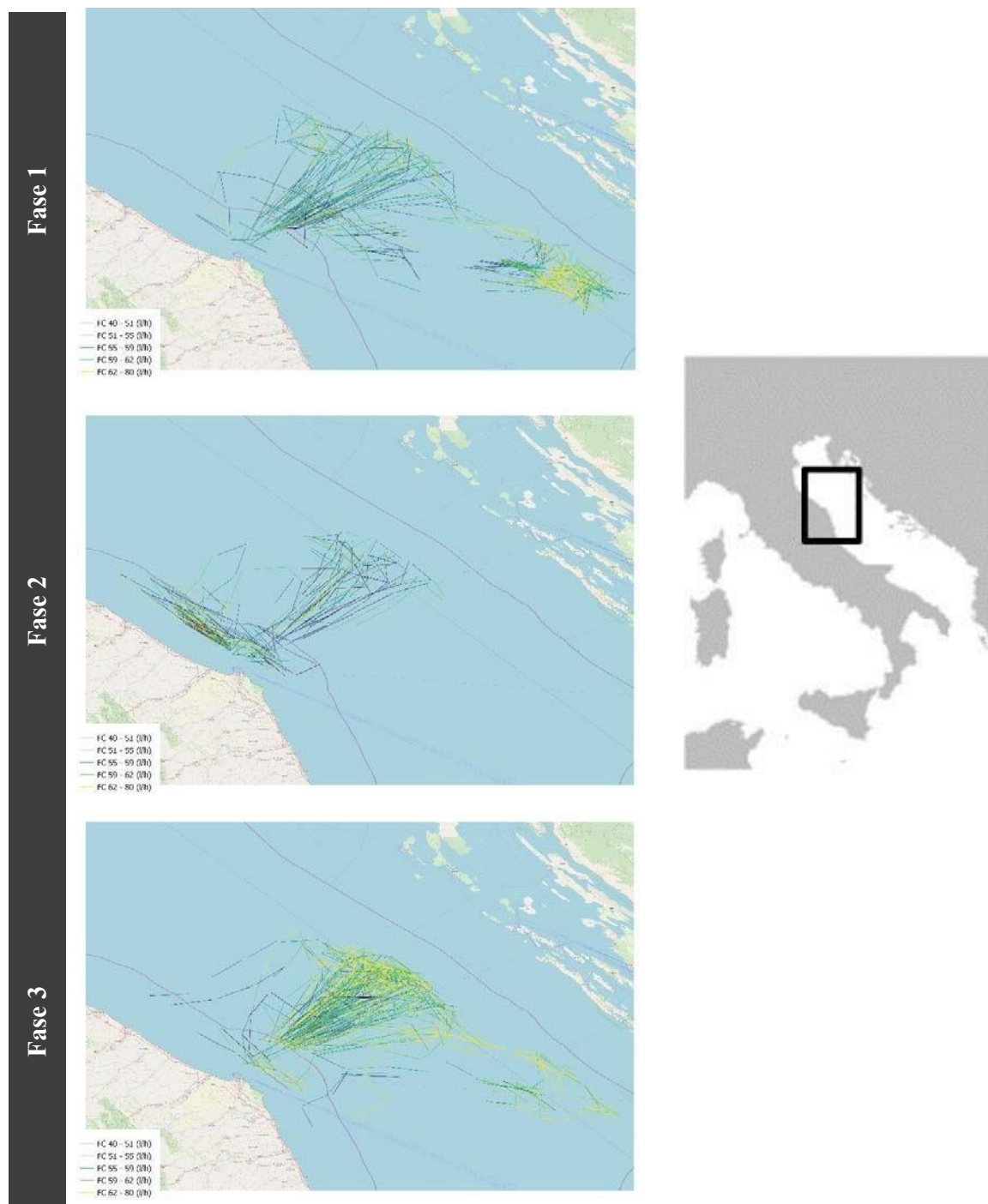


Figura 18. Area esplorata dalla nave del caso di studio disaggregata per fase di monitoraggio. Per ogni fase, i tracciati durante le operazioni di pesca sono riportati con colori diversi che rappresentano il consumo di carburante.

3.2. Definizione della domanda elettrica dell'imbarcazione del caso di studio

Dopo l'implementazione dei dispositivi elettrici, la domanda di energia elettrica dell'imbarcazione del caso di studio è stata monitorata attraverso un analizzatore di potenza elettrica. L'andamento e l'intervallo del consumo elettrico sono stati essenziali per identificare l'effettivo contributo dell'ORC all'intera domanda di energia elettrica. Inoltre, il confronto della domanda di energia elettrica prima e dopo l'installazione dei nuovi dispositivi elettrici ha permesso di comprendere più a fondo l'effettivo consumo complessivo di carburante dell'imbarcazione.

La Tabella 2 riporta la misurazione di ogni singola utenza elettrica dopo l'installazione dei dispositivi elettrici. Tutti i dispositivi elettrici, uno alla volta, sono stati avviati e sono stati misurati la potenza elettrica del generatore e il consumo di carburante del motore ausiliario.

La potenza elettrica assorbita (P_{el}), la corrispondente potenza meccanica erogata dal motore ausiliario (P_{aux}), il consumo di carburante e il consumo specifico di carburante sono riportati in modo crescente con la P_{el} , mentre il dP riporta la potenza elettrica effettiva di ogni singolo utente.

La relazione tra l'energia elettrica generata e il consumo di combustibile del motore ausiliario è descritta nella Figura 19, mentre il consumo specifico di combustibile in funzione della potenza elettrica è rappresentato nella Figura 20. La modellazione dell'energia elettrica generata e del consumo di combustibile del motore ausiliario può essere essenziale per una comprensione più approfondita della domanda effettiva di energia e del consumo di combustibile rispettivamente dell'utenza e del motore ausiliario.

Tuttavia, oltre alla domanda nominale di energia elettrica di picco e al consumo di carburante, l'andamento temporale della domanda elettrica influisce anche sul consumo effettivo di carburante del motore ausiliario.

Nella Figura 21 è riportato l'andamento temporale della domanda di energia elettrica dell'imbarcazione del caso di studio, durante una singola battuta di pesca. La potenza elettrica media assorbita è stata di circa 13,2 kW (13'200 W), con picchi fino a 20,5 kW, durante tutta l'attività di pesca. La maggior parte dei picchi è dovuta al fabbricatore di ghiaccio e alla pompa dell'acqua.

Tabella 2. Consumo elettrico dell'imbarcazione, misurato con amperometri a pinza CSS.

Dispositivo	P _{el} [kW]	P _{aux} [kW]	dP [kW]	FC [l/h]	SFC [g/kWh]
Inattivo	0.1	0.1	-	1.4	-
Trasformatore (380/220V)	2.7	3.4	2.6	2.0	634
Refrigeratore	4.0	5.0	1.3	2.4	523
Fabbricatore di ghiaccio	10.5	13.2	6.5	4.0	327
Pompa dell'acqua	16.2	20.2	5.7	5.0	266
Proiettori	18.2	22.8	2.0	5.3	251
Sala macchine ventilatrici	18.5	23.1	0.3	5.4	249
Riscaldatori	21.1	26.3	2.6	7.2	234

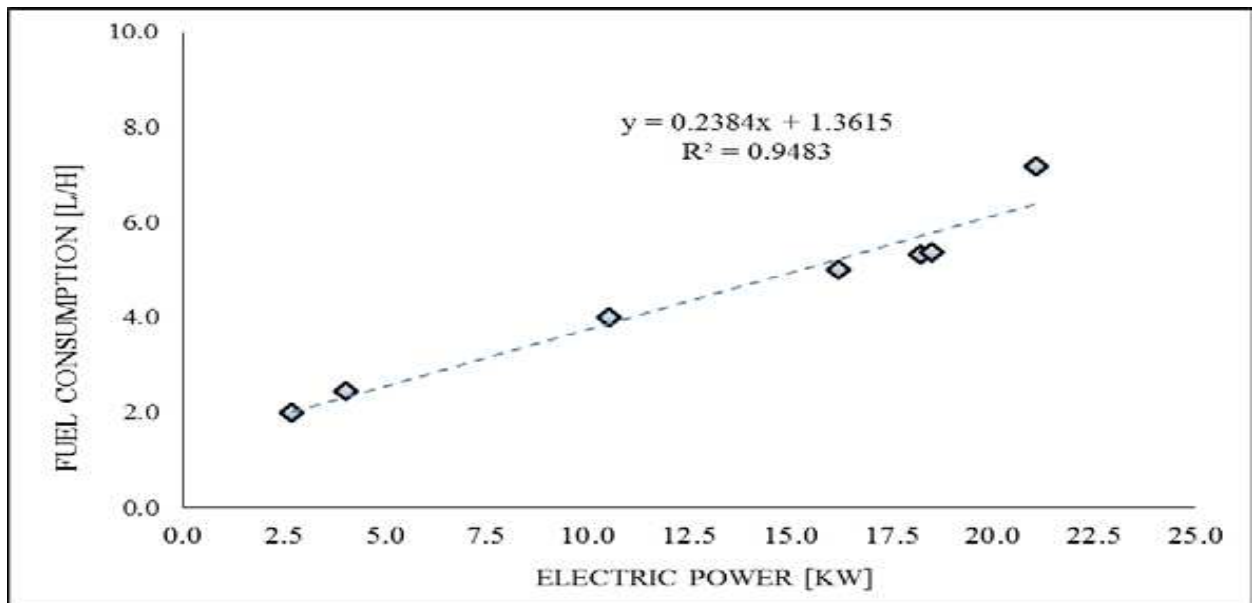


Figura 19. Potenza elettrica generata dal motore rispetto al consumo di carburante del motore ausiliario. Nell'intervallo di valori misurati, la relazione può essere modellata come una dipendenza lineare.

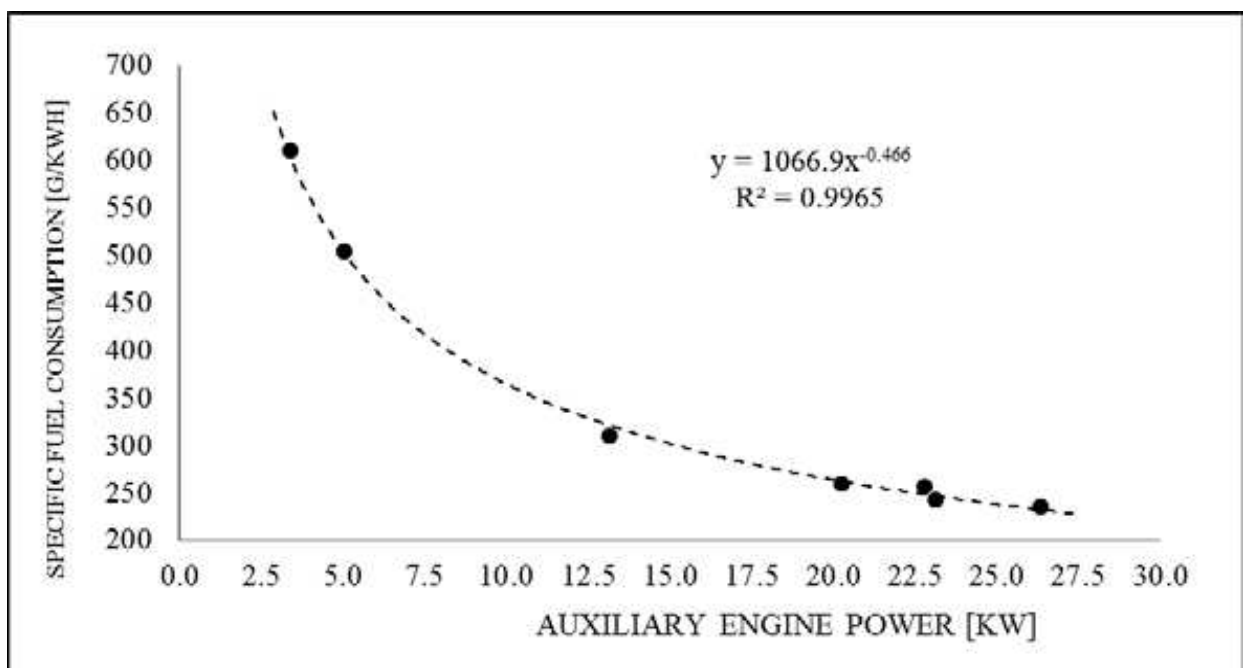
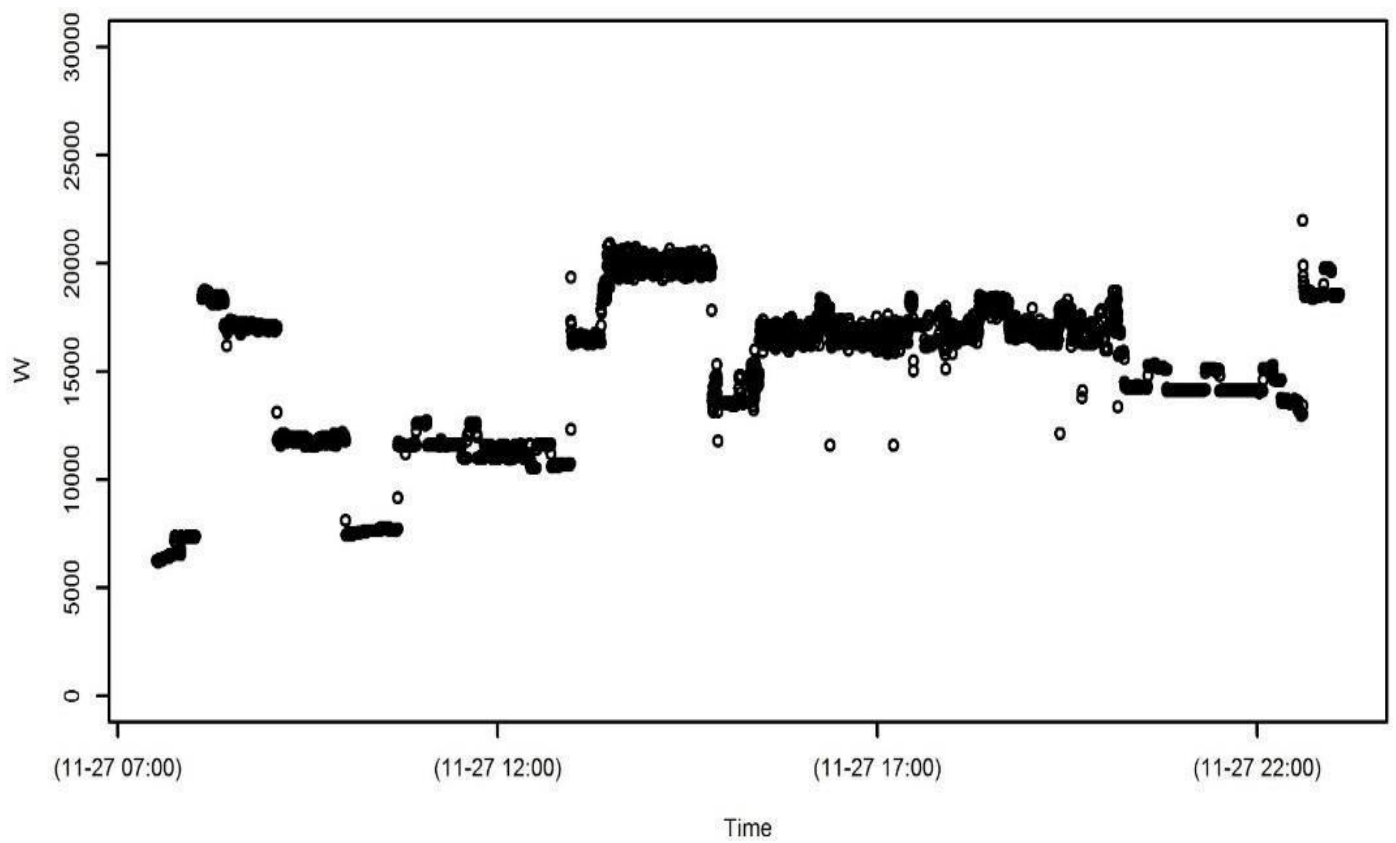


Figura 20. Potenza elettrica generata dal motore rispetto al consumo specifico di carburante del motore ausiliario. Nell'intervallo di valori misurati, la relazione può essere modellata come una dipendenza esponenziale.

Figura 21. Andamento temporale della domanda di energia elettrica dell'imbarcazione del caso di studio durante una battuta di pesca.



3.3. Effetti sul consumo di carburante

Per descrivere l'effetto dell'implementazione dei dispositivi elettrici sul consumo di carburante, le fasi di monitoraggio 1, 2 e 3 (per la fase 3 solo le registrazioni in cui il sistema ORC non era in funzione) sono state confrontate come combinazione di diagrammi di dispersione che includono l'andamento dei valori della velocità della nave e del consumo di carburante, insieme alle tendenze della distribuzione.

I diagrammi di dispersione sono basati sulla sintesi dei dati esplorati e mediati per ogni battuta di pesca e fase di lavoro. Con questo approccio, è possibile valutare le diverse condizioni operative e commentare gli eventuali effetti derivanti dalle diverse tendenze e distribuzioni.

Il consumo di carburante del motore principale doveva diminuire utilizzando un motore ausiliario come gruppo elettrogeno. Mentre un andamento simile del consumo di carburante è rappresentato per le fasi 1 e 2 (Figura 22), una riduzione del consumo di carburante è più evidente confrontando la fase 1 e la fase 3 (Figura 23), come descritto dall'andamento della densità del consumo di carburante, sebbene tale riduzione sia influenzata anche da una riduzione della velocità di crociera.

Durante la pesca a strascico, è possibile notare che il consumo di carburante del motore principale è stato ridotto dalla fase 1 alla fase 2 (Figura 24) e aumentato dalla fase 1 alla fase 3 (Figura 25). Questo effetto è stato immediatamente notato attraverso i protocolli di controllo dei dati imposti al sistema di monitoraggio.

Secondo quanto riferito dal capitano e sulla base di un'ulteriore indagine con altri capitani per meglio identificare e comprendere il fenomeno, durante la fase di monitoraggio 3, la fase di pesca a strascico è stata influenzata da un'enorme quantità di alghe stagionali che hanno aumentato sensibilmente la resistenza degli attrezzi, a causa del carico imposto al motore principale.

Per lo stesso motivo, la velocità di pesca a strascico risultava inferiore, poiché il sistema di propulsione non era in grado di garantire una spinta adeguata alla nave durante la pesca a strascico. Questo fenomeno è in linea con il fatto che durante la crociera il confronto degli andamenti del consumo di carburante ha dato risultati opposti (minor consumo durante la fase 3 rispetto alla fase 1).

Tale evento ambientale ha cambiato i riferimenti per un confronto diretto durante la pesca a strascico, quindi è stata considerata solo la fase di crociera per una valutazione completa dell'effetto dei dispositivi elettrici sul motore principale, mentre durante la pesca a strascico la valutazione è separata e basata sulla richiesta di potenza elettrica.

Il confronto del consumo totale di carburante prima e dopo l'implementazione dei dispositivi elettrici è riportato nelle Figure 26 e 27 per la fase di crociera e nelle Figure 28 e 29 per la pesca a strascico.

Osservando l'andamento del consumo di carburante durante la fase di crociera, è possibile notare un equilibrio tra le fasi, nel senso che il consumo di carburante del motore ausiliario è compensato dalla riduzione del consumo di carburante del motore principale. Le stesse considerazioni possono essere riportate per le fasi di pesca a strascico.

Il confronto tra le fasi 1 e 3 ha evidenziato un leggero aumento del consumo di carburante durante la crociera, che può essere correlato a un effetto delle alghe stagionali sul livello di rugosità dello scafo, che potrebbe aver aumentato la resistenza all'avanzamento ad alta velocità.

Durante la pesca a strascico, come per l'andamento della velocità e del consumo di carburante del motore principale, si possono trarre le stesse conclusioni.

Figura 22. Confronto del consumo di combustibile del motore principale durante la crociera - fase 1 vs fase 2.

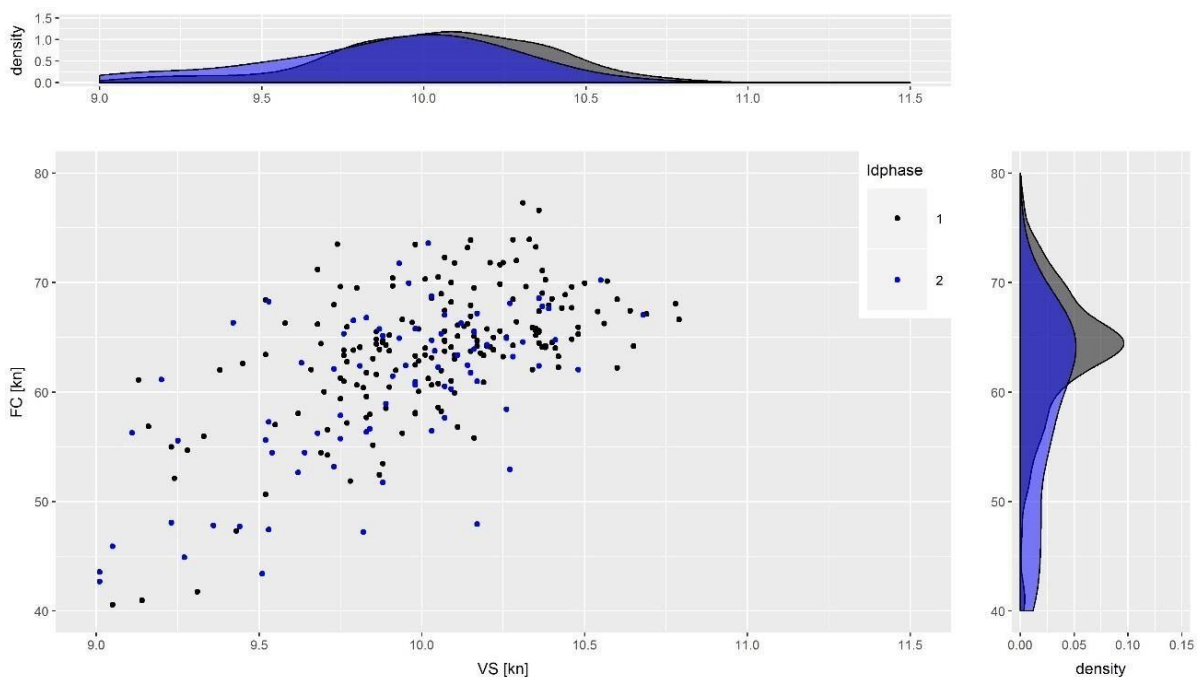


Figura 23. Confronto del consumo di carburante del motore principale durante la crociera - fase 1 vs. fase3.

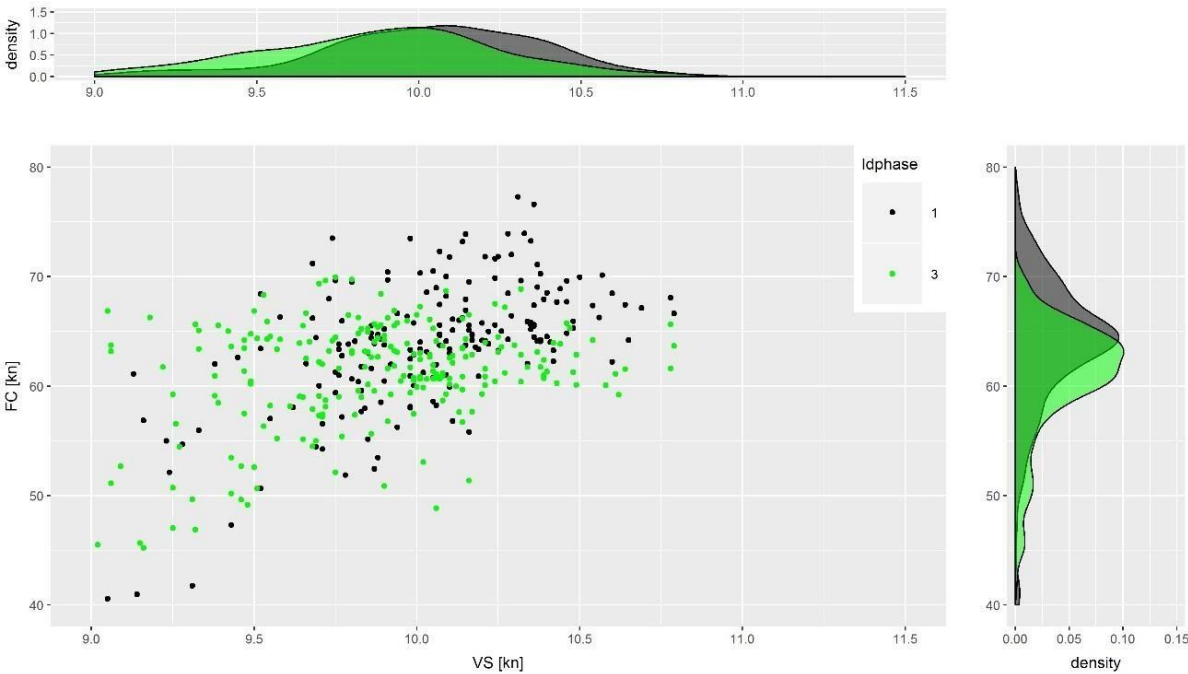


Figura 24. Confronto del consumo di carburante del motore principale durante la pesca a strascico - fase1 vs fase 2.

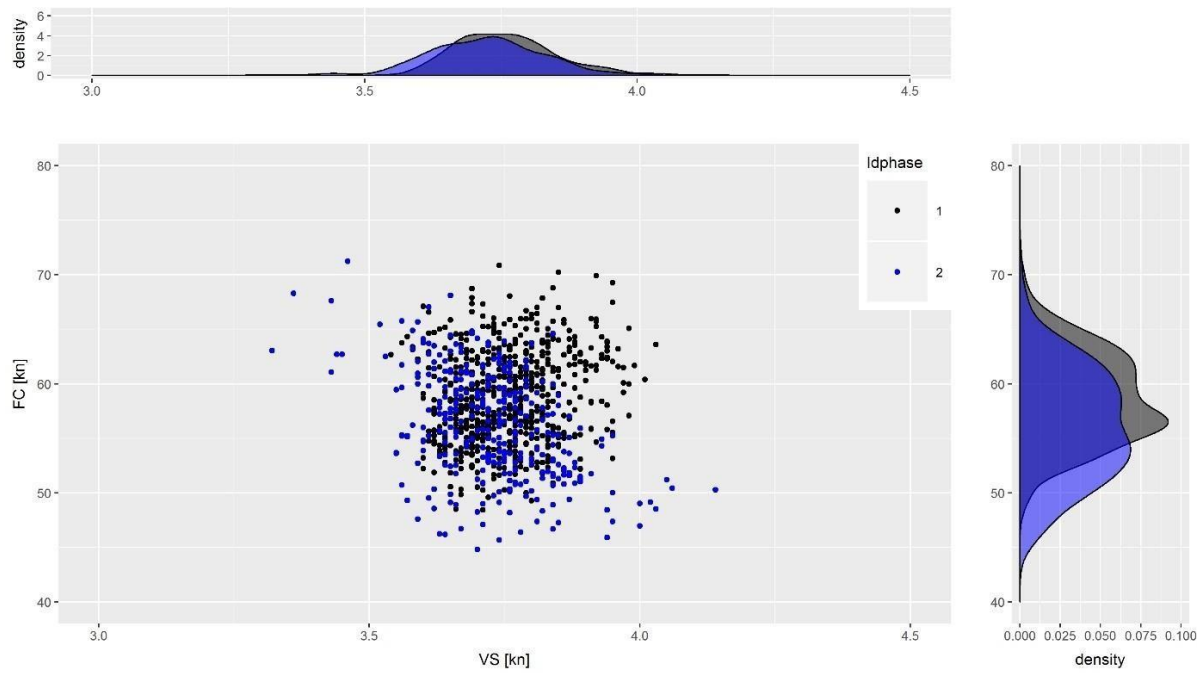


Figura 25. Confronto del consumo di carburante del motore principale durante la pesca a strascico - fase1 vs fase 3.

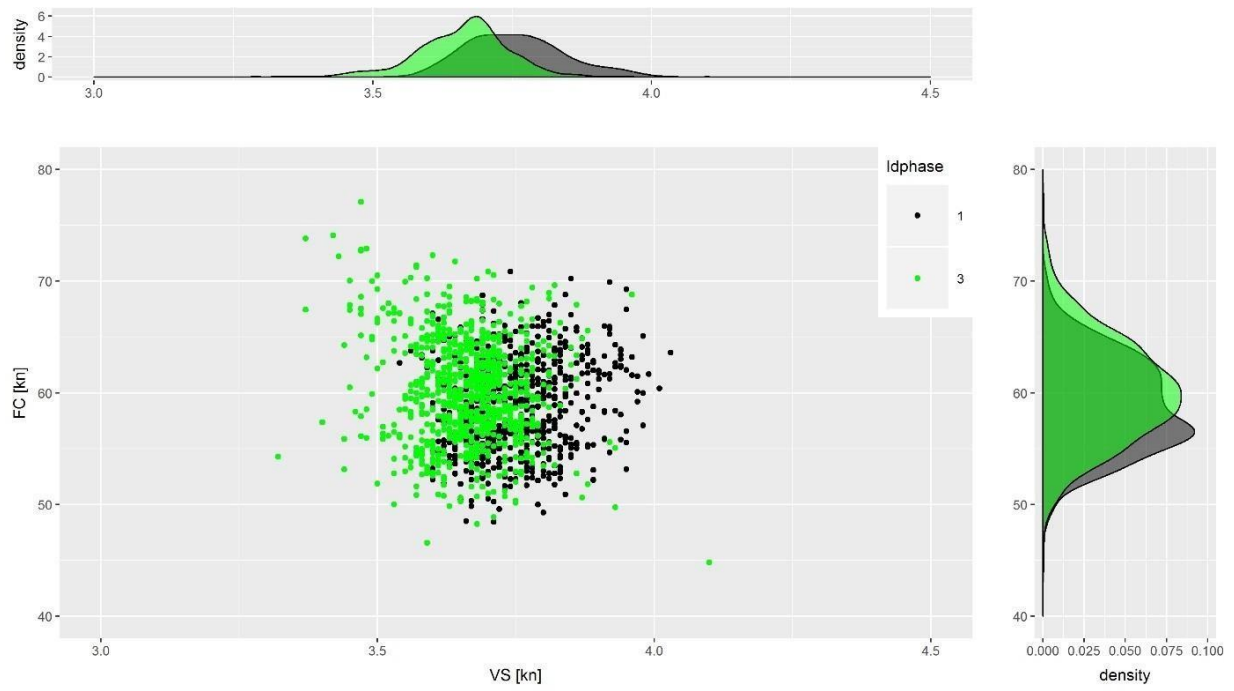


Figura 26. Confronto tra il consumo totale di carburante dei motori principali e ausiliari durante la crociera - fase 1 vs fase 2.

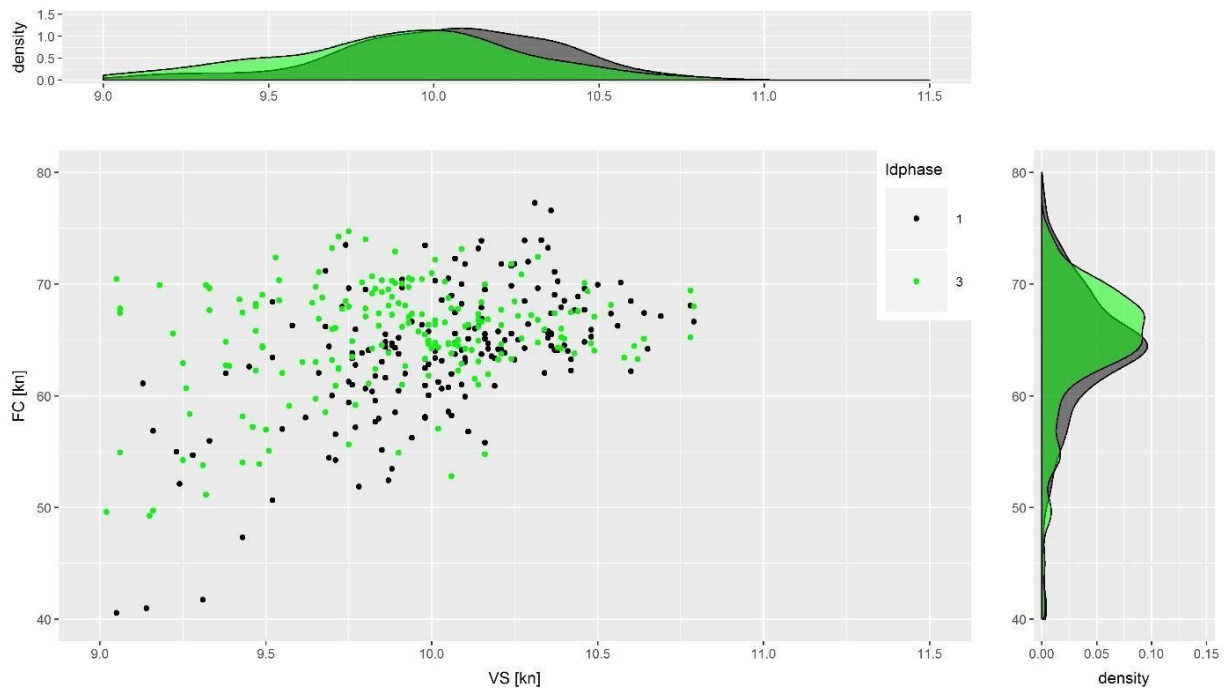
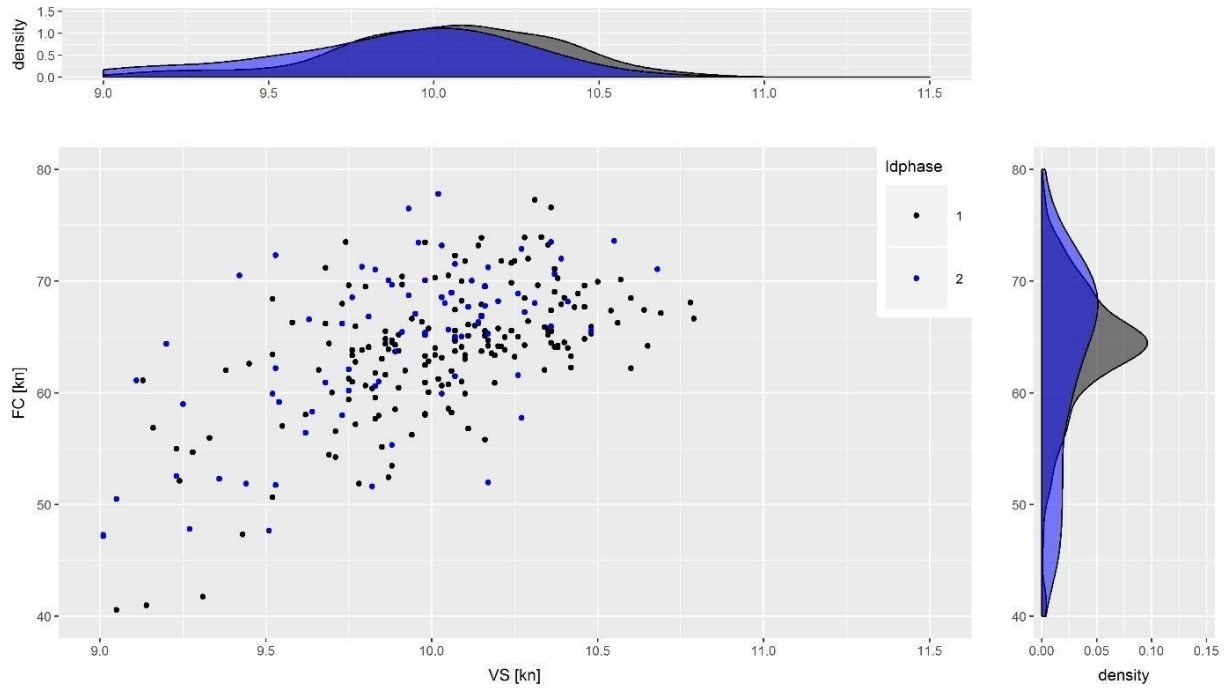


Figura 27. Confronto tra il consumo totale di carburante dei motori principali e ausiliari durante la crociera - fase 1 vs. fase 3.

Figura 28. Confronto tra il consumo totale di carburante dei motori principali e ausiliari durante la pesca a strascico - fase 1 vs. fase 2.

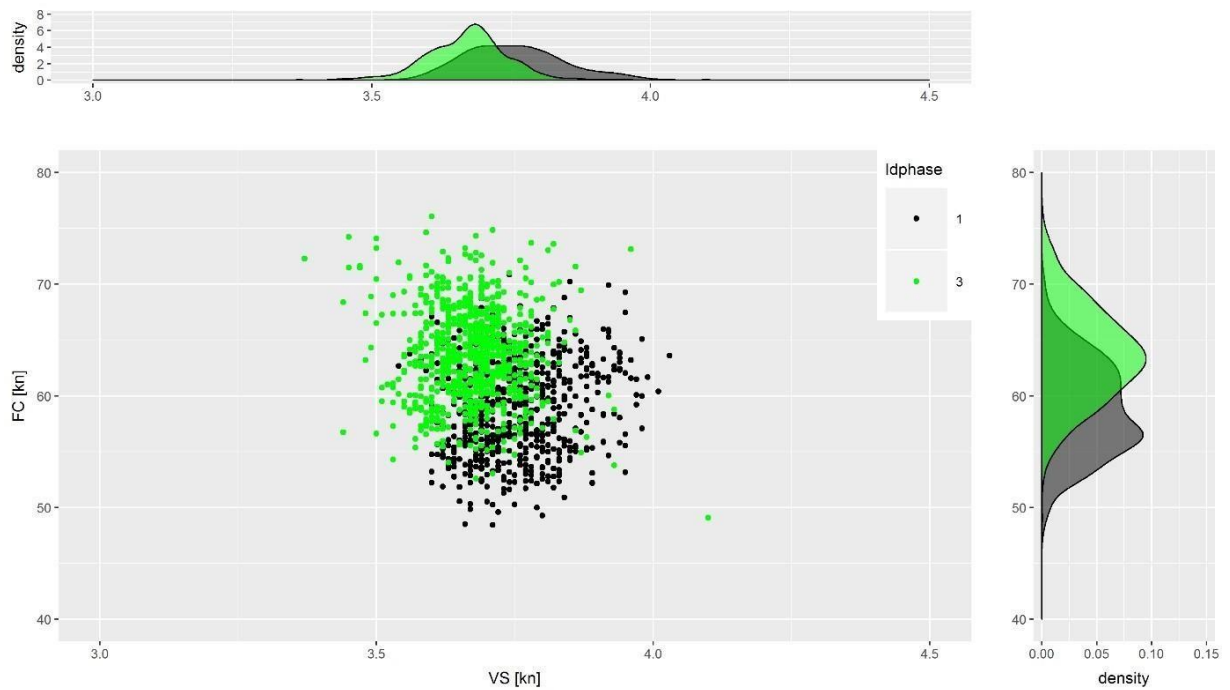
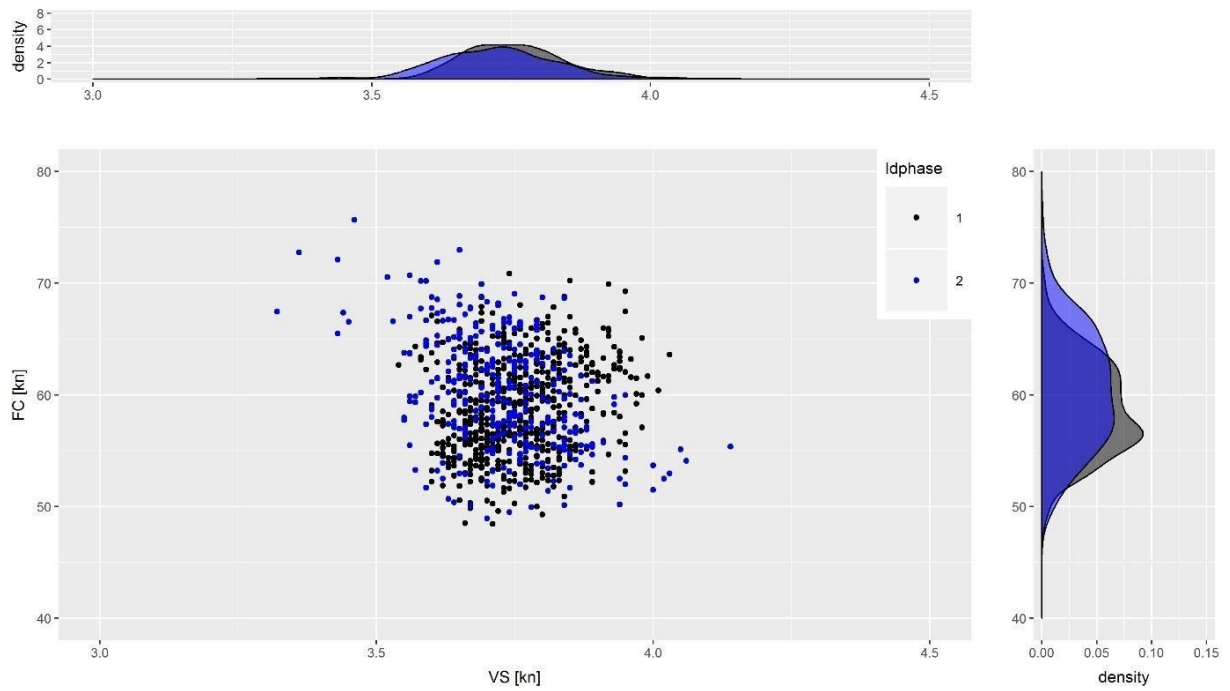


Figura 29. Confronto tra il consumo totale di carburante dei motori principali e ausiliari durante la pesca a strascico - fase 1 vs. fase 3.

4. Valutazione dell'impatto tecnico del sistema ORC

4.1. Sintesi dell'architettura del sistema ORC

Il layout dettagliato del sistema ORC sviluppato è riportato in (Figura 30). Il sistema contiene una turbina assiale a due stadi accoppiata a un generatore elettrico e un sistema di bypass (non menzionato nella Figura 5) all'ingresso dell'evaporatore dello scambiatore di calore.

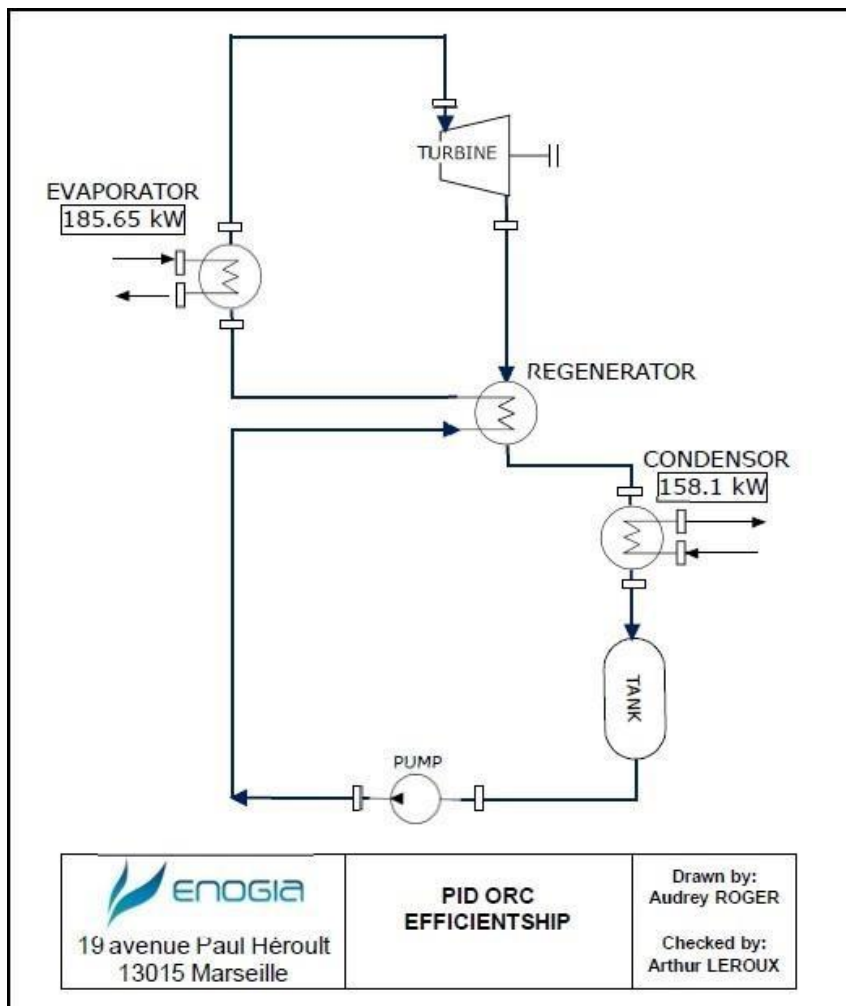
Questo bypass può limitare la quantità di calore di scarico che entra nell'evaporatore ORC in caso di arresto dell'ORC, limitare la temperatura massima del gas in ingresso o consentire all'equipaggio dell'imbarcazione di passare facilmente alla configurazione iniziale dell'imbarcazione, se necessario. Il sistema comprende anche uno scambiatore di calore di recupero, che è il rigeneratore.

Il modulo ORC sarà installato sul ponte superiore in un locale tecnico per non disturbare l'attività di pesca né modificare la struttura della nave. La piccola area disponibile richiede la selezione di componenti compatti ed efficienti, riducendo al minimo le perdite di pressione e mantenendo una potenza accettabile per il progetto.

È stata scelta una turbina assiale a due stadi per la sua compattezza e il suo elevato rapporto di pressione. La turbina a due stadi può moderare il rapporto di pressione per ogni stadio e mantenere un'elevata efficienza globale.

La soluzione dei cuscinetti sull'albero è stata scelta per sopportare i vari urti che si sarebbero verificati a bordo della nave con il moto ondoso. La turbina radiale non è stata scelta per la sua intolleranza alla presenza di liquido in caso di variazione troppo rapida del carico del motore.

Figura 30. Sistema ORC selezionato per il progetto EfficientShip



Specification	Value
Heat recovery	Direct exhaust gas recovery with by-pass
ORC type	Regenerator for efficiency
ORC fluid	Low GWP working fluid (confidential)
ORC expander	Twin stage electrical axial turbo-generator
Cooling fluid	Sea water

4.2. Valutazione dell'impatto tecnico

L'impatto effettivo del sistema ORC sul consumo di carburante è stato affrontato con un'analisi a due livelli. Una valutazione preliminare, basata sul confronto dei dati raccolti per l'ultimo periodo di monitoraggio (fase 3), che è stato suddiviso in due sottofasi: 3a quando il sistema ORC non funziona, 3b quando l'ORC funziona correttamente producendo elettricità.

Un'analisi più approfondita dell'effettiva riduzione ottenuta utilizzando il sistema ORC è descritta nel successivo paragrafo 4.1 "*Analisi dei dati monitorati per la simulazione numerica e la modellazione*", mentre la sintesi dei risultati ottenuti è riportata nel paragrafo 6 "*Sintesi dell'analisi dei risultati e degli indicatori di prestazione*".

Il sistema ORC è stato installato nell'agosto 2017 e avviato nel gennaio 2018. Complessivamente, il sistema ORC ha lavorato per un totale di 158 ore durante 19 battute di pesca, pari al 9,7% dei giorni lavorativi totali della fase 3 (gennaio-giugno 2018).

Sebbene siano state registrate anche operazioni discontinue dell'ORC, che hanno prodotto una quantità minore di energia elettrica, nell'analisi è stato incluso solo il numero di operazioni del sistema ORC che sono risultate stabili durante le corrispondenti fasi di pesca a strascico e di crociera.

Il confronto si è basato sul consumo totale di carburante monitorato durante la fase 3, poiché in questo periodo il sistema ORC è stato avviato ma non è stato utilizzato per tutti i giorni lavorativi; il confronto può quindi essere incentrato sulle condizioni operative legate alle stesse zone di pesca, alle condizioni dell'imbarcazione, alle condizioni meteorologiche e alla stagione, e quindi con un elevato livello di affidabilità.

Il confronto tra le sottofasi 3a e 3b, che vengono impiegate nelle stesse zone di pesca e con uno stato tecnico simile degli attrezzi da pesca e della nave, consente di mettere direttamente in relazione la variazione del consumo totale di carburante con il contributo del sistema ORC.

Durante la crociera (Figura 31) l'andamento del consumo di carburante e della velocità sono comparabili, anche se la distribuzione della velocità è leggermente spostata verso le velocità più elevate. Non si notano effetti rilevanti sul consumo di carburante.

La maggior parte del contributo dell'ORC durante la crociera è posizionata nella Figura 31 in una regione caratterizzata da velocità elevate, superiori a 9,5 kn. La dispersione dei valori del consumo di carburante durante la sottofase 3a è più ampia e appartiene a un intervallo di velocità (9,0-9,5 kn) e consumo di carburante (55-65 l/h) in cui l'ORC non ha mai contribuito, sebbene le condizioni operative della nave consentissero l'avvio del sistema ORC. Questo aspetto può essere ricondotto a due diverse ragioni:

- 1) La fase di crociera è ampiamente influenzata dalle variazioni e dai transitori di velocità della nave che possono influenzare i valori medi, riducendo soprattutto le porzioni di fase di crociera in cui la nave si avvicina al porto e deve decelerare;
- 2) si sta spostando da una zona di pesca a un'altra e la velocità massima non è richiesta dal capitano;

Durante la pesca a strascico (Figura 32) il consumo di carburante diminuisce quando il sistema ORC è in funzione, senza alcuna riduzione sensibile della velocità di pesca a strascico. Ciò è correlato alla riduzione del consumo di carburante del motore ausiliario derivante dal contributo del sistema ORC alla produzione di energia elettrica

Figura 31. Confronto tra le sottofasi 3a (ORC spento) e 3b (ORC acceso) durante la navigazione.

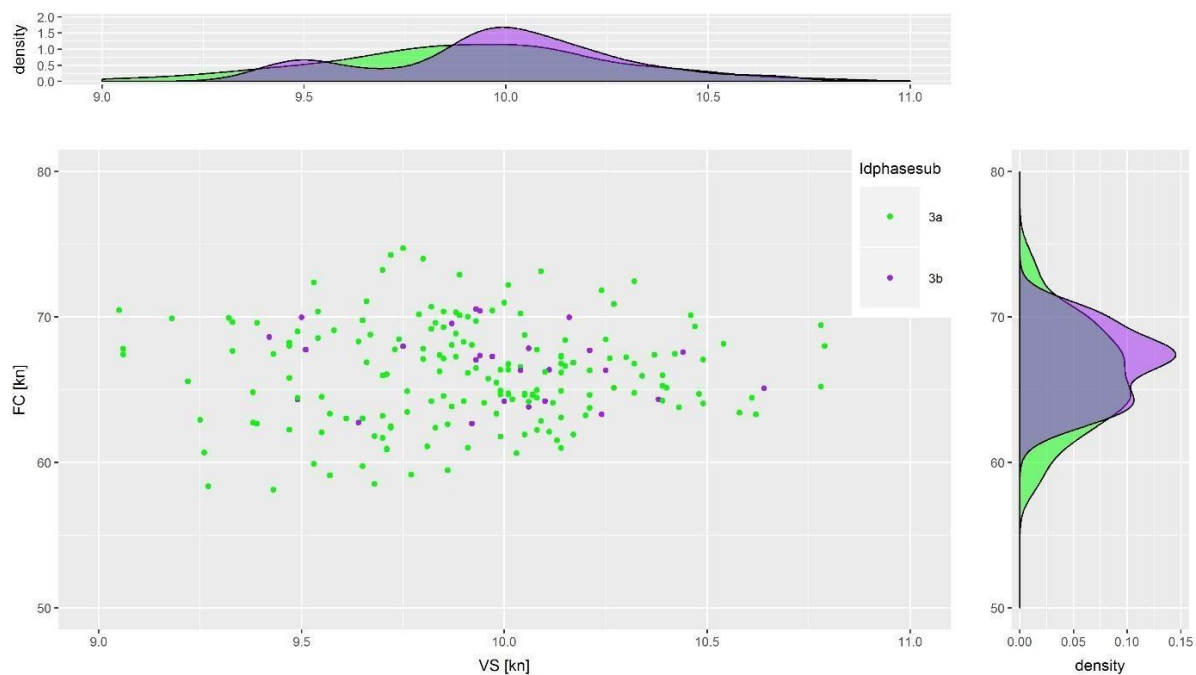
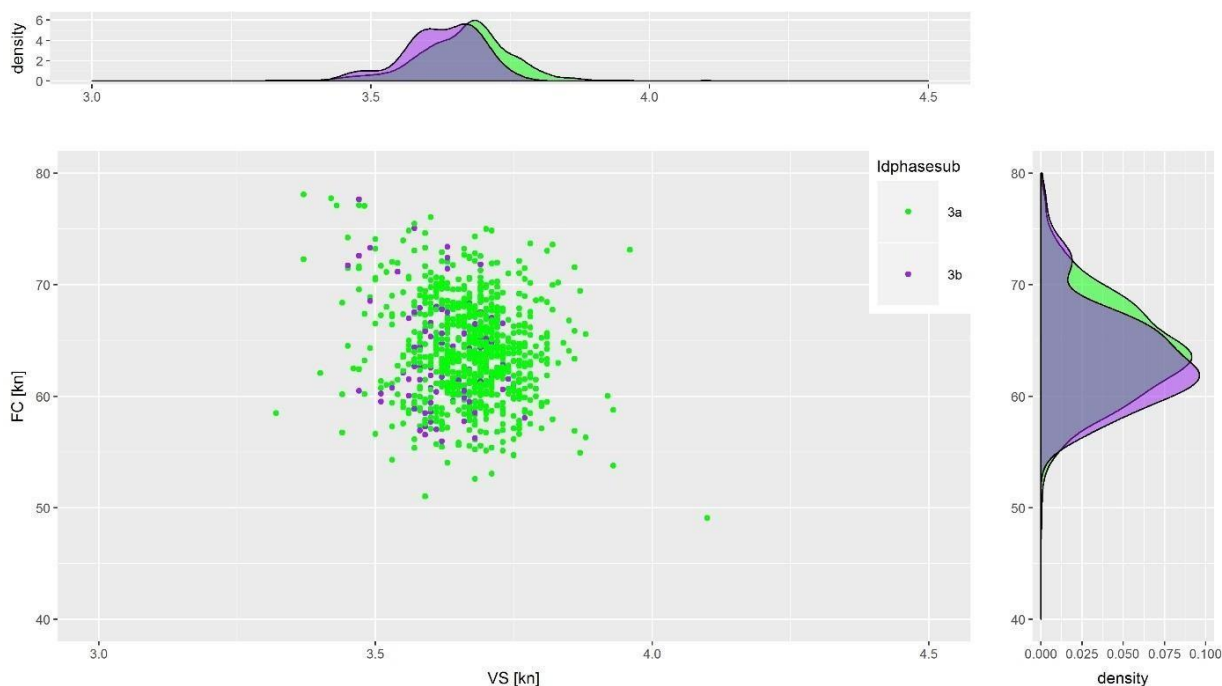


Figura 32. Confronto tra le sottofasi 3a (ORC spento) e 3b (ORC acceso) durante la navigazione.



4.1. Analisi dei dati monitorati per la simulazione numerica e la modellazione

4.1.1. Profilo della missione

Una missione è stata analizzata in modo più dettagliato. Si tratta della missione di pesca del 10 e 11 gennaio 2018 (Figura 33). Questa missione ha coperto 122 miglia nautiche e diversi parametri sono riportati nella Tabella 3. Un'ulteriore analisi dei dati raccolti rivela la suddivisione del tempo tra le diverse fasi della missione di pesca. Nei giorni 10 e 11 gennaio, la ripartizione del lavoro sulla barca è la seguente:

- 12% del tempo in modalità navigazione (per andare e tornare dalle zone di pesca),
- 73% del tempo in operazioni di pesca (pesca a strascico),
- 15% di "tempo morto".

Queste misurazioni sono più o meno in accordo con le ipotesi che sono state fatte nel 2016 per la fase di simulazione corrispondenti a: 15% di navigazione + 80% di pesca + 5% di tempo morto. Va però notato che, per la simulazione, il tempo

trascorso dall'imbarcazione con un carico elevato sul motore è superiore del 10% rispetto a quanto osservato nella vita reale per questa missione, ad esempio (navigazione + pesca = 95% per la simulazione, contro l'85% della vita reale).

Maggiore è il tempo trascorso ad alto carico per il motore, migliore è l'efficienza media dell'ORC. Una certa distorsione tra la simulazione numerica e la vita reale può essere attribuita alle differenze nella suddivisione del tempo.

Figura 33. Profilo della missione 10 e 11 gennaio 2018 (totale: 122 miglia nautiche)



Tabella 3. Valore cumulato dei principali parametri monitorati durante la missione di pesca del 10 e 11 gennaio 2018

Parametro	Valore misurato
Distanza totale (miglia nautiche)	122
Durata della missione (h)	45
Consumo di carburante cumulato del motore principale (L)	2'290
Consumo di carburante cumulato del motore ausiliario (L)	513
Durata della pesca (h)	32.5
Durata della navigazione (h)	5.5
Tempo morto (h)	6.8
Consumo cumulativo di energia elettrica a bordo (kWh)	433
Tempo di produzione ORC (h)	28
Energia elettrica ORC cumulata (kWh)	135

4.1.2. Velocità della nave e consumo di carburante (motore principale)

Concentrandoci sulla velocità della nave e sul consumo del motore principale, osserviamo una buona coerenza tra il lavoro di simulazione e le prove in mare, sia per i periodi di pesca (a strascico) che per le fasi di navigazione. La velocità di pesca è vicina ai 4 kn, con un consumo di carburante associato al motore principale tra i 50 e i 62 l/h. Durante i periodi di navigazione, la velocità è aggregata tra 9,3 e 10,6 kn, con un consumo di carburante del motore principale tra 50 e 63 l/h (vedi Figura 34).

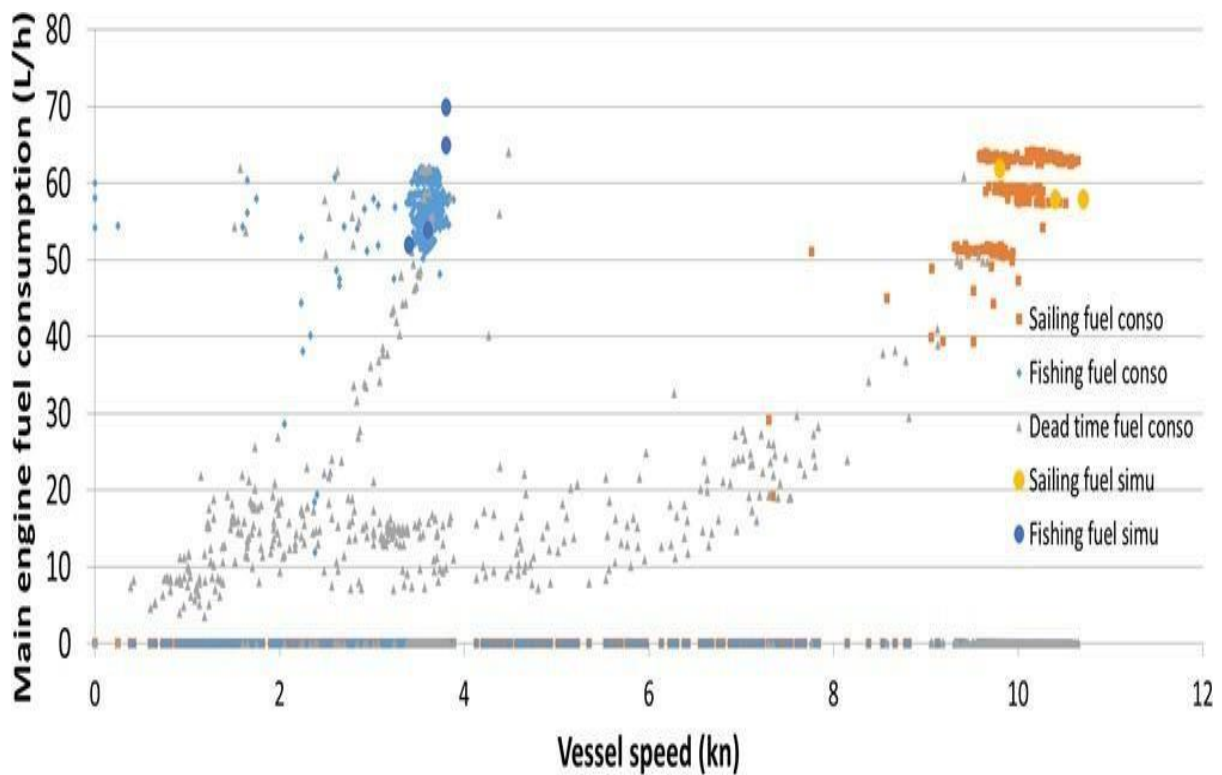


Figura 34. Consumo di carburante del motore principale in funzione della velocità della nave e confronto con l'ipotesi di simulazione (corrispondente ai 3 punti gialli e ai 4 punti blu)

4.1.3. Ripartizione della domanda elettrica

Durante la missione, la richiesta di energia elettrica a bordo dell'imbarcazione è molto variabile (Figura 35). Varia principalmente da circa 3,0 a 18 kW, con picchi fino a 21 kW. I picchi vengono raggiunti durante le fasi di pesca. Durante le fasi di navigazione, la domanda è quasi sempre inferiore a 10 kW. Facendo riferimento alla Tabella 3, è possibile calcolare una domanda media di energia elettrica di 9,6 kW per le 45 ore di durata della missione.

La tabella 4 mostra la ripartizione teorica del consumo di energia elettrica dell'imbarcazione. La tabella annuncia un fabbisogno costante di energia elettrica di 10,1 kW, che sembra essere nel buon ordine di grandezza ma un po' troppo alto rispetto ai 9,6 kW di consumo elettrico medio misurato durante la missione di pesca. Il consumo massimo teorico di 19,4 kW è, ancora una volta, nel buon ordine di grandezza, ma un po' inferiore alla misurazione effettuata in condizioni reali (21 kW).

Per quanto riguarda gli ausiliari direttamente collegati al funzionamento del sistema ORC (cioè la pompa ORC e la pompa di raffreddamento ORC), potrebbero rappresentare un consumo di elettricità fino a 4,3 kW, ma il consumo di energia della pompa ORC è variabile, a seconda della potenza erogata dalla turbina ORC.

Purtroppo, il loro consumo energetico reale non è stato misurato. Durante il lavoro di simulazione, è stato stimato in 1,5 kW per il funzionamento a strascico (vedi Compito A1, Tabella 5). La conclusione è che le richieste teoriche di potenza elettrica della Tabella 4 relative agli ausiliari "sempre accesi" sono sovrastimate.

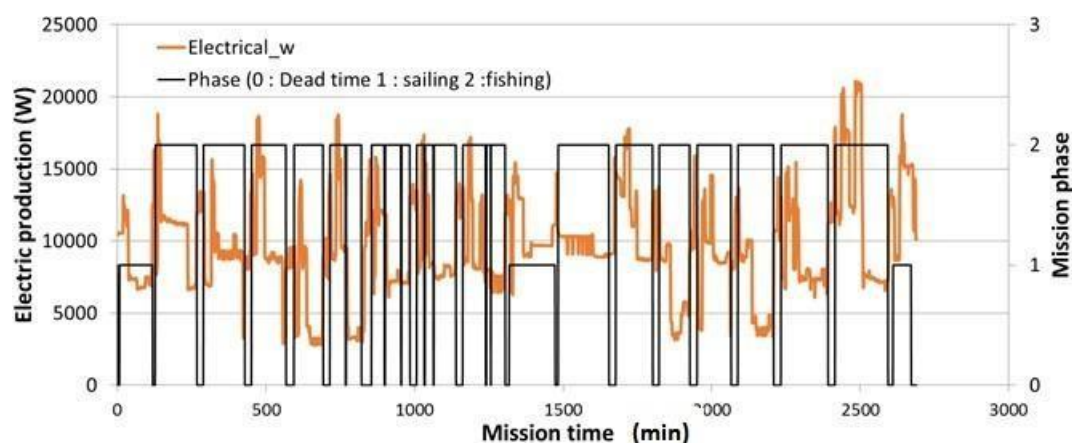


Figura 35. Produzione di energia elettrica del gruppo elettrogeno durante la missione

Tabella 4. Principali utenze elettriche a bordo della nave Orizzonte (Fonte: E. Notti, CNR - Open Day, Seeport Hotel, Ancona, 08/09/2017).

Nr. 1 main water pump	5.0 kW	Variable request
Nr. 2 compressors (ice maker, refrigeration)	3.4 kW	Constant request
Nr. 1 water pump (ORC cooling loop)	1.3 kW	Variable request
ORC pump	3.0 kW	Variable request
Hotel	4.2 kW	Constant request
Nr. 2 pump (compressors cooling systems)	2.5 kW	Constant request
Total	19.4 kW	
<i>Constant electric power demand</i>	<i>10.1 kW</i>	
<i>Variable electric power demand</i>	<i>9.3 kW</i>	

4.1.4. Prestazioni ORC

Durante questa missione di 2 giorni, il prototipo di sistema ORC ha prodotto energia elettrica per la maggior parte dei periodi di pesca. Il sistema si è fermato - come previsto - nei momenti morti a causa di un carico insufficiente del motore principale, corrispondente alla mancanza di calore nel camino di scarico. Durante la navigazione, l'ORC non è sempre acceso.

Quando è accesa, la turbina ORC produce una potenza elettrica che varia da 4 a 6 kW in modalità pesca, con un valore medio di 4,8 kW (Figura 36). La Figura 37 mostra che, come previsto, la potenza erogata dalla turbina è ben correlata alla richiesta di potenza del motore principale.

Si può anche notare che la richiesta di potenza del motore è un po' più bassa di quella presa come dato di ingresso per il lavoro di simulazione preliminare. Questo può spiegare in parte perché la potenza della turbina non è così elevata come previsto dalla simulazione.

Come visto in precedenza, la richiesta media di energia elettrica durante la missione è di 9,6 kW. Ciò significa che, quando è accesa, la produzione grezza della turbina ORC copre il 50% del fabbisogno elettrico dell'imbarcazione. Considerando l'intera missione, la produzione elettrica della turbina ORC copre circa un terzo della domanda elettrica totale dell'imbarcazione.

Se trascuriamo l'autoconsumo degli ausiliari dell'ORC (differenza tra la produzione grezza della turbina e la produzione netta del sistema ORC), nel caso in cui il consumo di carburante del gruppo elettrogeno fosse direttamente proporzionale alla potenza elettrica erogata, ciò significherebbe che il consumo di carburante

dell'imbarcazione dovuto al gruppo elettrogeno potrebbe essere ridotto di un terzo. Considerando che l'ordine di grandezza del consumo di carburante del gruppo elettrogeno è 10 volte inferiore a quello del motore principale, questa riduzione di un terzo potrebbe rappresentare circa il 3% di riduzione del consumo di carburante per l'intera imbarcazione. Come vedremo nella prossima sezione, non è così.

Figura 36. Potenza elettrica in uscita dell'ORC per le diverse fasi della missione durante la missione di 2 giorni.

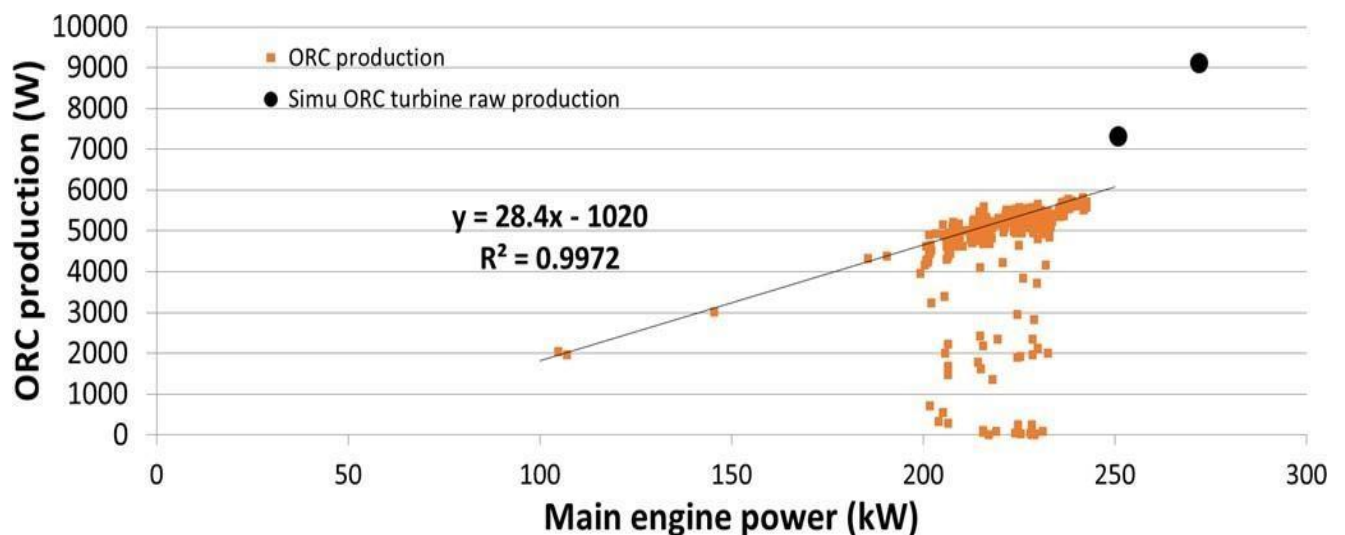
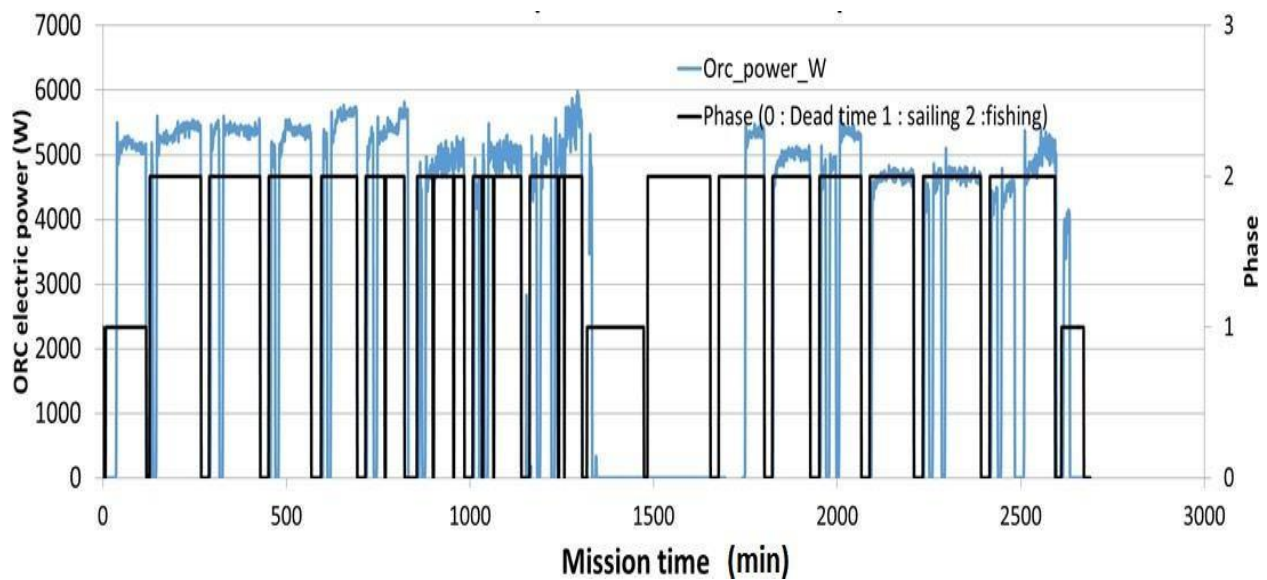


Figura 37. Potenza elettrica della turbina ORC rispetto alla potenza del motore principale e confronto con i risultati della simulazione (2 punti neri)

4.1.5 Produzione di energia elettrica e consumo di carburante del gruppo elettrogeno

La Figura 38 riporta i risultati dell'analisi esplorativa eseguita per rilevare la relazione tra l'assorbimento di potenza e il consumo del motore ausiliario. È possibile osservare che l'assorbimento di potenza e il consumo del motore ausiliario sono correlati e quando il sistema ORC è attivo il consumo di carburante diminuisce a parità di assorbimento di potenza.

Sebbene l'effetto di una fase specifica non sia rilevante per la valutazione dell'impatto del sistema ORC, la figura mostra che sia la fase di pesca che quella di navigazione possono essere considerate come fasi che contribuiscono al funzionamento del sistema ORC.

Questo non è il caso del precedente caso di studio, il vivier crabber, dove solo la fase di navigazione era utile per la corretta attivazione dell'ORC. La fase di pesca del vivier crabber è condotta con il motore principale a basso carico termico, quindi non è disponibile sufficiente potenza termica al gas di scarico.

Per stimare la riduzione del consumo di carburante del motore ausiliario causata dal funzionamento dell'ORC, abbiamo modellato il consumo del motore ausiliario in funzione dello stato del sistema (off/on), attività di fase (navigazione/pesca) e media oraria dei kilowatt totali assorbiti.

La Figura39 riporta l'analisi della varianza del modello finale, tutte le covariate sono risultate significative.

Il monitoraggio del consumo di combustibile del gruppo elettrogeno è ben correlato con la produzione di energia elettrica a bordo dell'imbarcazione: maggiore è la richiesta elettrica, maggiore è il consumo di combustibile del gruppo elettrogeno, in una relazione abbastanza lineare (Figura 38).

Quando il sistema ORC è spento, i livelli di consumo di carburante misurati sono rilevanti e vanno da circa 3 a 6 l/h. In effetti, ricalcolando il BSFC del gruppo elettrogeno si stima un consumo di circa 320 g/kWh, coerente con quanto ci si può aspettare per quel tipo di motore funzionante a carico parziale.

Quando il sistema ORC è acceso, il consumo di carburante del gruppo elettrogeno si riduce in media di circa 0,5 l/h (Figura 39). Ciò rappresenta una riduzione del 10-12% circa del consumo di carburante del gruppo elettrogeno. Rispetto al consumo globale di carburante dell'imbarcazione (motore principale: 50-63 l/h + gruppo elettrogeno: 4-6 L/h; consumo medio di carburante calcolato sull'intera missione dalla Tabella 3: 62 L/h), l'uscita ORC fornisce una riduzione di circa l'1% dell'intero consumo energetico dell'imbarcazione.

Come si è visto nella sezione precedente, questo 1% è basso rispetto al fatto che la produzione grezza dell'ORC copre un terzo della domanda elettrica dell'imbarcazione durante l'intera missione di pesca, il che potrebbe portare teoricamente a una riduzione del consumo di carburante fino al 3%.

La Figura 38 mostra, ad esempio, che la diminuzione di circa un terzo della produzione elettrica (da 10 kW a 7 kW) riduce il consumo di carburante da circa 4,2 a 3,8 L/h (0,4 L/h), il che rappresenta una riduzione del -10%.

Sarebbe stato di grande interesse un prospetto elettrico del sistema ORC globale per misurare la produzione netta dell'ORC, con misure elettriche per ogni componente dell'ORC. Purtroppo non è disponibile.

Alla fine è stata fatta una stima tenendo conto delle schede tecniche degli ausiliari teorici: vedi Tabella 5. Si conclude che la produzione elettrica netta dell'ORC è significativamente inferiore alla produzione grezza della turbina, probabilmente più vicina a 3 kW di produzione elettrica durante la pesca a strascico.

Tenendo conto delle 28 ore di produzione dell'ORC durante l'intera missione (vedi Tabella 3), ciò rappresenta circa 84 kWh. Rispetto al consumo totale di elettricità della missione (433 kWh), la produzione netta stimata dell'ORC copre il 19% della domanda elettrica media.

Probabilmente il problema dovrebbe essere migliorato riducendo il consumo energetico della pompa dell'acqua per il raffreddamento dell'ORC. Per la prova è stata installata una pompa dell'acqua dedicata e non c'è stato tempo sufficiente per

ottimizzarne il funzionamento ma, in futuro, si dovrebbe puntare a utilizzare lo stesso circuito di raffreddamento (e la stessa pompa dell'acqua) che per il raffreddamento del motore principale.

Tenendo conto delle misurazioni del consumo di carburante della Tabella 3 (riportate nella Tabella 6, qui di seguito), possiamo calcolare che questo 19% di energia elettrica netta gratuita dell'ORC può rappresentare circa il 3% ($0,19 \times 0,18 = 0,034$) del costo del carburante dell'imbarcazione.

Figura 38. Consumo di carburante del gruppo elettrogeno rispetto alla produzione elettrica

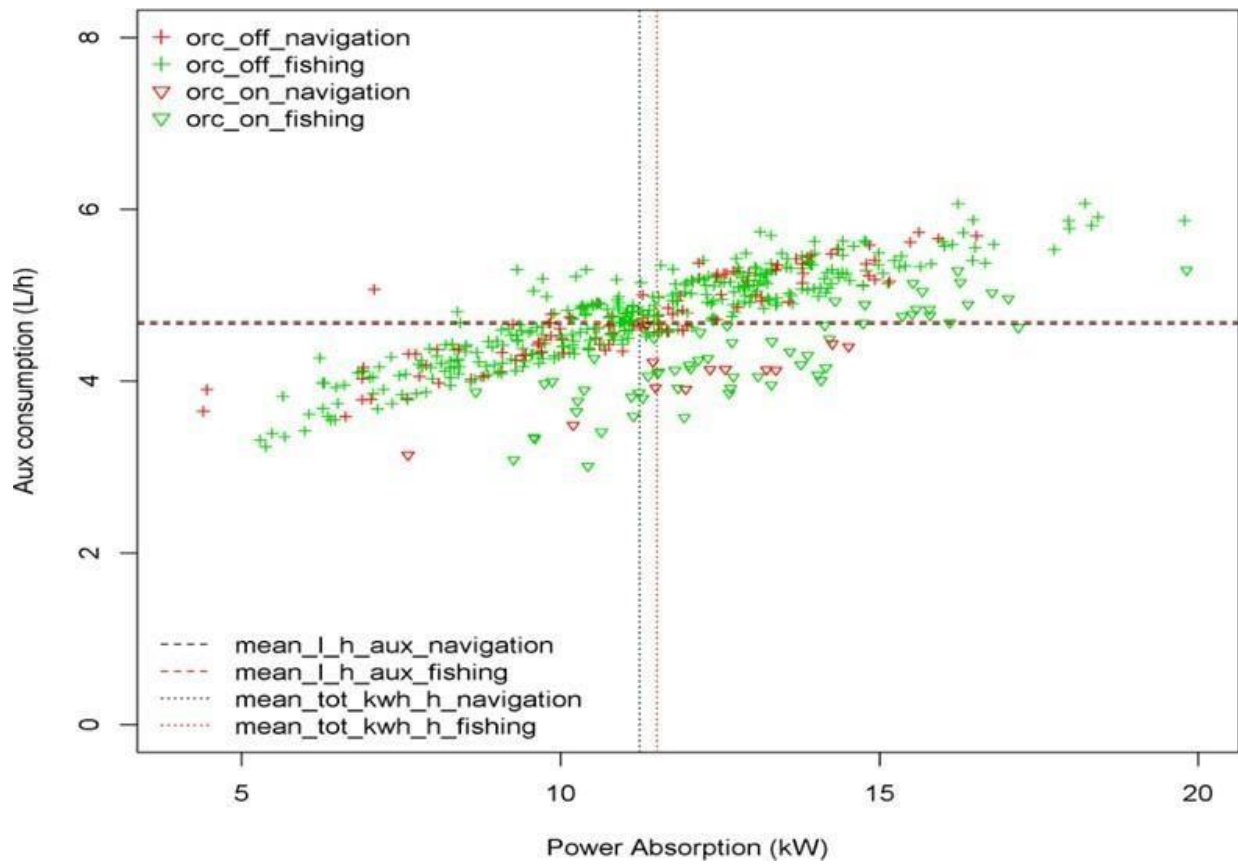


Figura 39. Analisi statistica del consumo di combustibile del gruppo elettrogeno con ORC "acceso" o "spento".

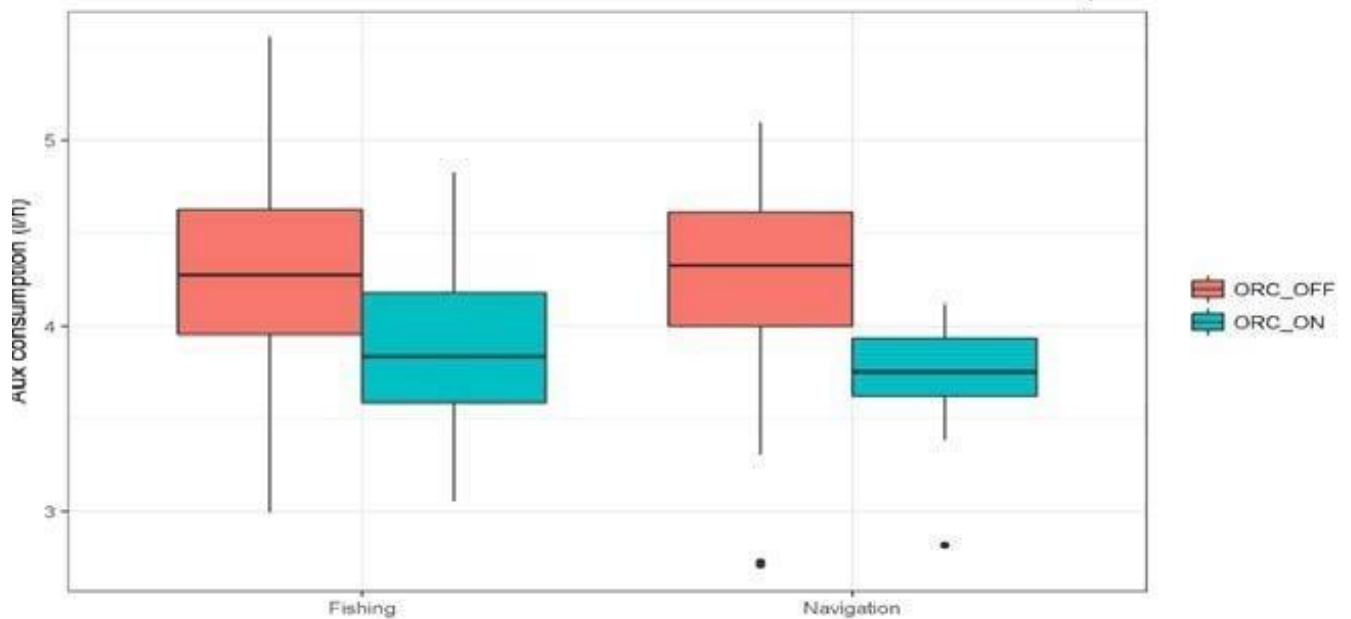


Tabella 5. Ripartizione elettrica provvisoria del sistema ORC per la condizione di pesca a strascico

Attrezzatura	Ipotesi / condizione di funzionamento	Potenza (kW)
Produzione grezza di turbine ORC	Misurato durante la pesca a strascico	+5
Pompa di raffreddamento ORC	Considerato per la simulazione preliminare: 0,3kW Potenza massima (scheda tecnica): 1,3 kW	Da -0,3 a -1,3
Pompa per fluidi di lavoro ORC (CR3-9 - 3m ³ /h - 9 bar)	NOVEC 649 / dP=7bar / 1,25m ³ /h	-0.85
Unità di controllo ORC	Stima	-0.3
Potenza netta ORC (kW)		Da +2,6 a +3,6

Tabella 6. Dati sul consumo di carburante per l'intera missione di pesca (estratti dalla Tabella 3)

Attrezzatura	Consumo cumulato di carburante (quota del consumo totale di carburante)
Motore principale	2290 l (82%)
Motore ausiliario (gruppo elettrogeno)	513 l (18%)
Consumo totale di carburante	2803 l (100%)

5. Valutazione dell'impatto ambientale

5.1. Sintesi delle emissioni di gas serra nella pesca

Le emissioni di gas serra legate al trasporto marittimo con motori a combustione interna sono direttamente collegate al consumo di carburante e questo permette di valutare la produzione di anidride carbonica in base al monitoraggio del carburante consumato.

Secondo Parker et al. (2018), nel 2011 la flotta peschereccia mondiale ha consumato fino a 40.000 milioni di litri di carburante ed emesso 179 milioni di tonnellate di CO₂. La pesca è un'attività ad alto consumo di carburante, totalmente dipendente dai combustibili fossili. Tuttavia, è tra le attività più importanti della produzione alimentare.

Nel 2011, le flotte pescherecce nazionali con le maggiori emissioni complessive di gas serra avevano sede in Cina, Indonesia, Vietnam, Stati Uniti e Giappone. Questi cinque Paesi hanno rappresentato il 37% degli sbarchi e il 49% delle emissioni totali nel 2011, producendo insieme 81 milioni di tonnellate di CO₂ (Parker et al., 2018).

Le flotte pescherecce basate in Cina hanno emesso da sole 50 milioni di tonnellate di CO₂-eq, circa un quarto delle emissioni totali globali derivanti dalla pesca, più dell'impatto combinato di tutte le attività di pesca in Europa e nelle Americhe.

La costa occidentale del Sud America, invece, ha mostrato la produzione a minore intensità di carbonio, rappresentando il 15% della produzione ittica globale nel 2011 e solo il 3% delle emissioni derivanti dalla pesca, grazie alla percentuale relativamente alta di sbarchi provenienti dalla pesca dell'acciuga peruviana, a basso consumo di carburante.

I Paesi che hanno preso di mira in modo sproporzionato i crostacei, tra cui l'Arabia Saudita e l'Australia, avevano le flotte a più alta intensità di carbonio.

La pesca di specie pelagiche di lunghezza generalmente inferiore ai 30 cm, che ha rappresentato un quinto degli sbarchi dichiarati nell'intero periodo, ha contribuito solo al 2% delle emissioni globali della pesca. La pesca dei crostacei, invece, ha rappresentato solo il 6% degli sbarchi ma oltre il 22% delle emissioni.

Le attività di pesca di aragoste e gamberi raccolgono volumi relativamente bassi per bordata rispetto a quelle di pesca di pesci rossi e, in particolare nel caso della pesca a strascico di crostacei, consumano notevoli quantità di carburante nel processo.

Nel complesso, la pesca a strascico può essere considerata un obiettivo preferibile

per le azioni e le strategie volte a ridurre le emissioni di inquinanti nella pesca. Le altre tecniche di pesca "passive", come le trappole, le nasse, i palangari e tutte le attività di pesca su piccola scala, compresi i tramagli e le reti da posta, sono da considerarsi trascurabili rispetto alla pesca a strascico.

5.2. Metodologia per la stima delle emissioni di gas serra

Le emissioni di gas serra delle imbarcazioni monitorate sono state rapportate al consumo di carburante monitorato durante le fasi di monitoraggio e attuazione. Il calcolo si è basato sulla metodologia della norma europea EN 16258 per il "*calcolo e la dichiarazione del consumo energetico e delle emissioni di gas serra dei servizi di trasporto*", approvata dal Comitato europeo di normalizzazione (CEN).

Questo standard è riconosciuto come il più ampio in termini di metodologie di trasporto e potrebbe includere molti tipi di trasporto marittimo. Ciò è utile in quanto i risultati potrebbero essere applicati anche a navi diverse dai pescherecci.

Per il calcolo delle emissioni di gas serra è stata considerata la CO_2e , che indica l'influenza di ciascun gas serra sul riscaldamento globale utilizzando la quantità di conversione della concentrazione di CO_2 , che potrebbe avere effetti simili.

Ciò è comune quando è necessario confrontare diverse fonti di gas serra, cosa che tuttavia non è il caso di questo studio. Questo approccio potrebbe consentire confronti con altri studi e/o metodologie.

Secondo la norma EN 16258 il fattore di conversione considerato è 2,68 kg CO_2e/l (chilogrammo di CO_2 equivalente per litro di gasolio: la definizione equivalente indica che il peso di CO_2 considerato può essere direttamente confrontato con quello di altre fonti di emissione).

5.3. L'effetto del sistema ORC sull'impatto ambientale dell'imbarcazione oggetto del caso di studio

Un'analisi spaziale preliminare è riportata nella Figura 40, dove è rappresentata la distribuzione spaziale delle emissioni di CO_2 (in tonnellate) delle imbarcazioni monitorate nel 2017, come quantità totale e per attività di pesca (navigazione, pesca a strascico). Ogni cella di 3,6 x 3,6 NM è colorata in base alla quantità totale di CO_2 emessa per singola cella. L'analisi spaziale è una valutazione estesa, quindi è influenzata dalla quantità di CO_2 emessa, dall'estensione dell'area di interazione e dall'intensità di tale interazione.

La distribuzione spaziale ha permesso anche di identificare le aree più impattate, che sono per la maggior parte a terra, in linea con il fatto che le navi tornano in porto per sbarcare il pesce quasi ogni giorno.

Per l'OTB (il peschereccio del caso di studio) e l'OTT (attrezzo a strascico binato) l'impatto sulle zone di pesca (lontane dalla costa) è omogeneo e distribuito su aree più ampie. Per il TBB le zone di pesca sono più a terra e le aree di pesca sono

ristrette. Per questo motivo, l'intensità delle emissioni (CO₂/unità di superficie) è la più alta.

Concentrandosi sulla nave del caso di studio (Figura 41), la maggior parte della CO₂ si trovalungo le rotte trasversali percorse dalla nave per raggiungere le zone di pesca e tornare in porto per sbarcare il pesce.

Figura 40. Distribuzione spaziale delle emissioni di CO₂ per le imbarcazioni considerate nel 2017. Il valore di CO₂ per singola cella (3,6x3,6 km) è riportato in scala cromatica.

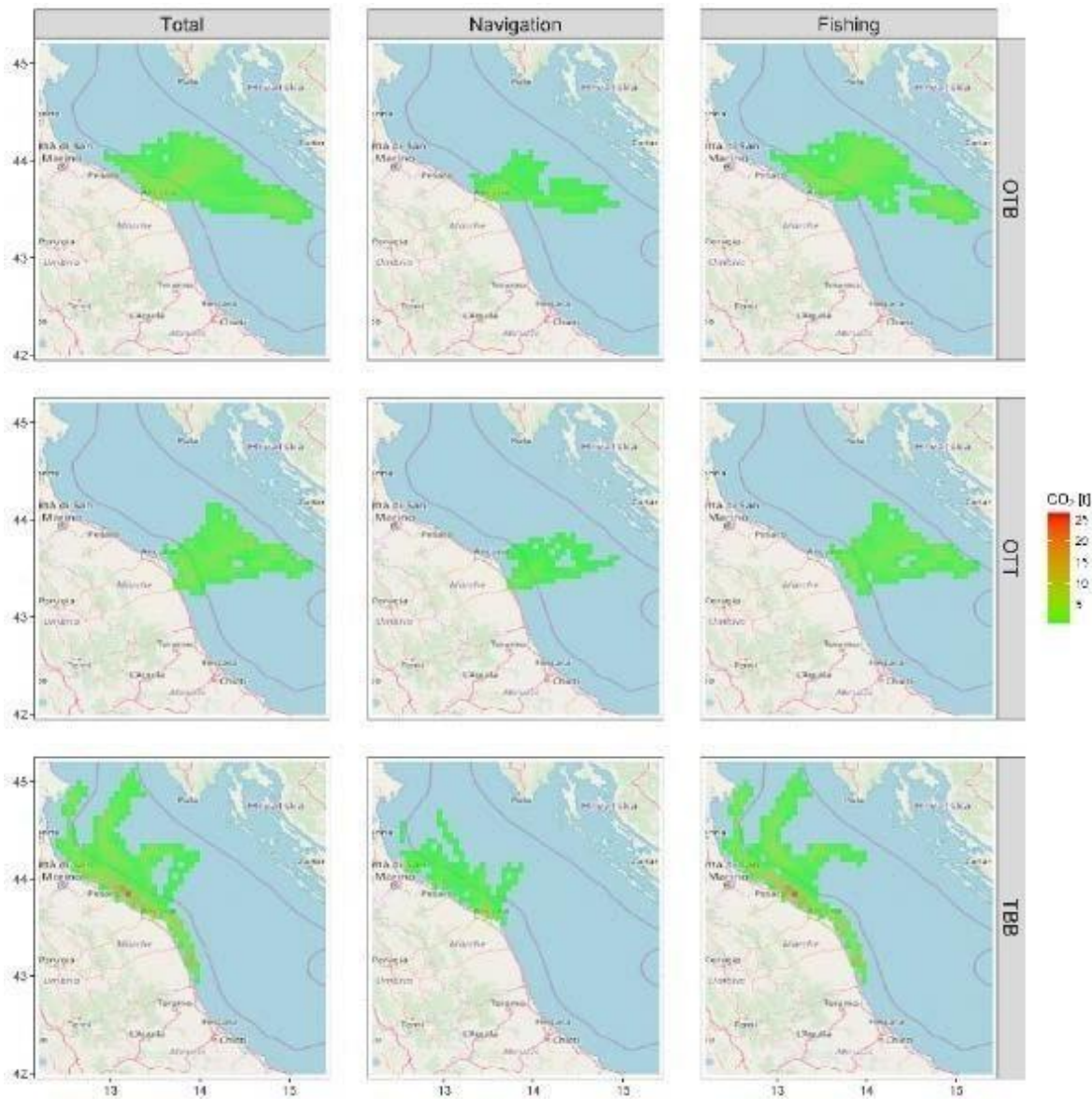


Figura 41. Distribuzione spaziale delle emissioni di CO₂ per la nave del caso di studio nel 2017, disaggregata per fase di pesca e per periodo di monitoraggio. Il valore di CO₂ per singola cella (3,6x3,6 km) è riportato in scala cromatica.



Sebbene la distribuzione spaziale delle emissioni di CO_2 permetta di commentare i potenziali rischi per l'ambiente legati all'attività di pesca, per comprendere meglio l'intensità dell'impatto delle emissioni causate dal peschereccio del caso studio è utile definire un altro indicatore, basato sull'emissione di CO_2 per unità di tempo (CO_2/ora).

Nella Figura 42 il box plot della CO_2/ora è disaggregato per fase di pesca (crociera: Cr, pesca a strascico: Tr) e per fasi/sottofasi di monitoraggio. Durante la fase di crociera, il valore medio dell'indicatore è quasi costante, anche se la mediana durante la sottofase 3b è aumentata rispetto alla sottofase 3a.

Durante l'attività di pesca a strascico, la CO_2/ora è aumentata per tutta la fase 3 a causa dell'aumento della resistenza della rete da traino, come riportato nella sezione 3. Confrontando le sottofasi 3a e 3b è evidente una riduzione della CO_2/ora quando il sistema ORC è in funzione.

Infine, è possibile notare che i valori di riferimento della CO_2/ora non sono influenzati dalla stagione, mentre la quantità di CO_2 può essere largamente influenzata dalle ore di lavoro effettive, che normalmente aumentano nelle stagioni calde (primavera ed estate) in base alle migliori condizioni meteo-marine.

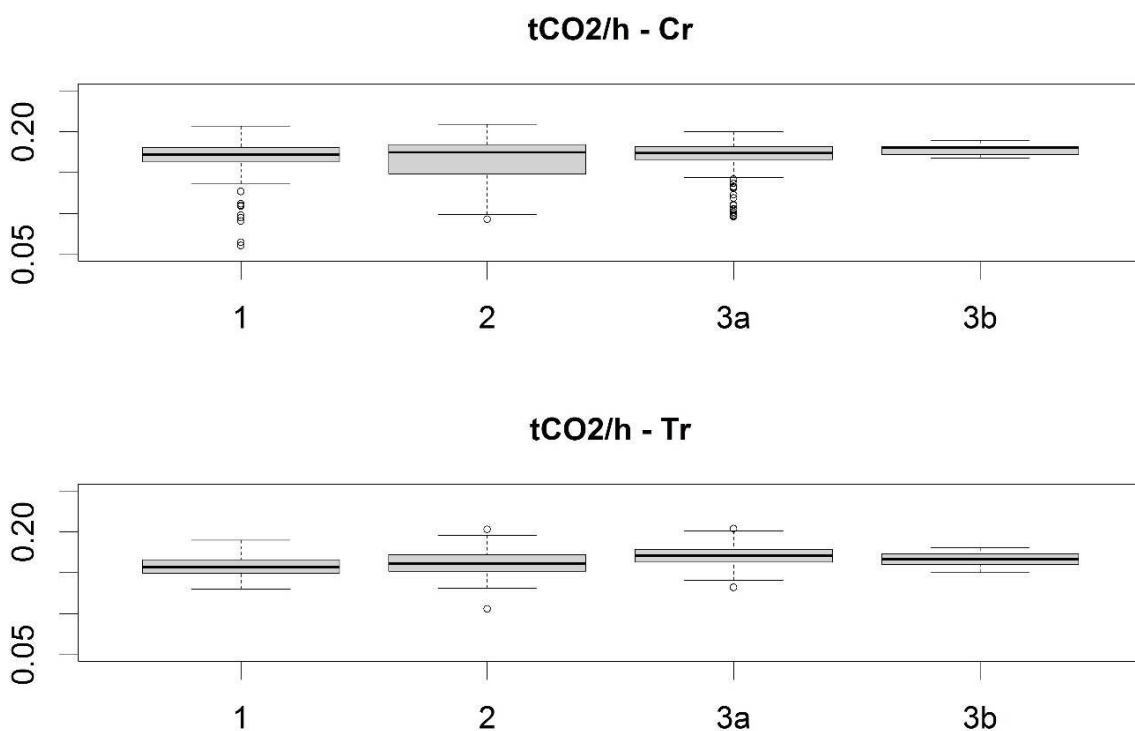


Figura 42. Grafico a barre delle tonnellate di CO_2 emesse all'ora disaggregate per fasi/sottofasi di monitoraggio e per attività di pesca (crociera: Cr; pesca a strascico: Tr).

6. Sintesi dell'analisi dei risultati e degli indicatori di performance

Per riassumere l'analisi dell'impatto tecnico e ambientale dell'implementazione del sistema ORC sull'imbarcazione del caso di studio, i dati raccolti sono stati sintetizzati e discussi. Inoltre, è stato calcolato e discusso un elenco di indicatori di prestazione (Tabella 7, Tabella 8).

La velocità della nave (VS) è il parametro più importante per descrivere le condizioni operative di una nave da pesca a strascico (OTB, OTT, TBB). Le fasi di crociera e di pesca a strascico sono caratterizzate da due diversi valori di riferimento della velocità. Durante le fasi 1 e 2 i VS per la crociera e la pesca a strascico sono simili. Durante la fase 3, la velocità di pesca a strascico è leggermente diminuita a causa di un aumento della resistenza della rete a strascico per la persistenza delle alghe, mentre la velocità di crociera è paragonabile a quelle delle fasi 1 e 2.

Il confronto del consumo di carburante del motore principale (FC main) ha permesso di quantificare l'effetto dell'elettrificazione della nave. Il consumo di carburante durante la crociera è diminuito da 63,03 l/h della fase 1 a 57,64 l/h della fase 2, a causa della riduzione del carico del motore principale, in quanto una serie di utenze energetiche sono state azionate dal motore ausiliario (pompa dell'acqua, compressori, ecc.). Il consumo di carburante della fase 3 durante la crociera è aumentato dalla fase 2 a valori paragonabili alla fase 1.

Il consumo di carburante del motore ausiliario è uno degli indicatori più importanti che rappresentano l'effetto diretto del sistema ORC. Il motore ausiliario è stato avviato all'inizio della fase 2 e il consumo di carburante è stato comparabile, variando da 4,08 l/h (sottofase 3a, crociera) a 4,27 l/h (fase 2, pesca a strascico). Complessivamente, la pesca a strascico ha comportato una fase di pesca più intensa dal punto di vista energetico, a causa della necessità di refrigerare il pesce, della produzione di ghiaccio e dell'uso di pompe d'acqua per pulire il pesce e il ponte principale.

Concentrandosi sull'impatto diretto del sistema ORC, il consumo di carburante del motore ausiliario è variato da 4,08-4,11 della sottofase 3a a 3,58-3,68 l/h della sottofase 3b, con una riduzione media di 0,4 ~ 0,5 l/h.

Il consumo complessivo di carburante (FC all) rappresenta la somma del consumo dei motori principali e ausiliari. Tra la fase 1 e 2, il consumo complessivo di carburante è diminuito da 63,03 l/h a 61,77 l/h durante la crociera, mentre è

aumentato da 58,73 a 60,35 l/h durante la pesca a strascico. Questo effetto è principalmente legato alla diversa zona di pesca e allo stato dello scafo, che è stato sottoposto a manutenzione nell'agosto 2017.

La produzione elettrica del motore ausiliario e del sistema ORC è stata riportata come valori massimi e medi. La fase di pesca a strascico è sempre stata più impegnativa dal punto di vista energetico rispetto alla fase di crociera.

Il contributo dell'ORC è stato circa la metà della potenza prodotta dal motore ausiliario. Il sistema ORC ha prodotto in media da 3,56 a 3,74 kW durante l'intero periodo di funzionamento, con picchi di 6,66 e 7,87 kW rispettivamente per le fasi di crociera e di pesca a strascico.

Per una comprensione più approfondita dell'impatto del sistema ORC sugli aspetti tecnici e ambientali, la Tabella 7 riporta anche altri indicatori di prestazione, definiti come rapporto tra i parametri di prestazione.

Confrontando il carburante bruciato per unità di miglia nautiche (l/NM) si possono individuare due diversi intervalli, da 9,37 a 10,04 l/NM durante la crociera e da 24,10 a 25,98 l/NM durante la pesca a strascico. I valori minimi si riferiscono entrambi alla fase 2, quando non è stato richiesto al motore principale di fornire energia alle utenze. Confrontando le sottofasi 3a e 3b, mentre la razione è aumentata da 9,65-9,97 l/NM, è diminuita durante la pesca a strascico da 25,98 a 25,46 l/NM.

La quantità di CO₂ emessa è stata calcolata per unità di tempo (kCO₂/h) e per unità di miglia nautiche (kCO₂/NM). In media, i kCO₂/h variavano da 165,96 kg/h a 178,20 kg/h durante la crociera e da 157,39 kg/h a 171,32 kg/h durante la pesca a strascico.

Durante la crociera, in accordo con l'andamento del consumo di carburante, i kCO₂/h della sottofase 3a sono aumentati da 169,89 kg/h a 178,20 kg/h. Al contrario, durante la pesca a strascico i chilogrammi di CO₂ per unità di tempo sono diminuiti da 171,32 kg/h a 166,47 kg/h.

L'emissione di CO₂ per unità di miglio (CO₂/NM) variava in modo diverso tra la crociera e la pesca a strascico. Durante la crociera i valori variavano da 25,18 a 27,02 kg/NM, mentre durante la pesca a strascico l'intervallo era compreso tra 64,65 e 69,75 kg/NM.

Nella Tabella 8 è riportato un ulteriore elenco di indicatori, disaggregati per fase di monitoraggio e per mese, per tenere conto anche di altre variabili, come l'andamento annuale della quantità di litri di carburante, la durata effettiva di ogni fase di monitoraggio e dell'attività di pesca, gli sbarchi catturati dalla nave del caso studio e la quantità di CO₂ emessa.

A una minore quantità di sbarchi corrisponde una maggiore quantità di carburante bruciato per unità di sbarchi, poiché il pescatore è indotto a prolungare l'attività di pesca per catturare più pesce. Anche la durata di ogni fase di pesca non è correlata alla quantità di pesce sbarcato.

Sia il carburante bruciato che la CO₂ emessa per unità di sbarco sono rappresentati da tre diversi valori di riferimento. I l/kg di pesce variano da 0,09 della fase 1 a 0,05 della fase 2, e 0,12 della fase 3. Le emissioni di CO₂/kg variano da 0,23 della fase 1, a 0,14 della fase 2 e 0,32 della fase 3

Tabella 7. Sintesi dei principali parametri tecnici e ambientali, riportati come valori medi (mean) e deviazione standard (Sd), che descrivono l'impatto del sistema ORC sul consumo energetico dell'imbarcazione del caso di studio, disaggregati per fasi di monitoraggio (Fase 1,2,3) e fasi di pesca (Crociera; Pesca a strascico). (VS: velocità della nave [kn]; FC main: consumo di carburante del motore principale [l/h]; FC Aux: consumo di carburante del motore ausiliario [l/h]; FC all: consumo complessivo di carburante [l/h]; P el (max/avg): potenza elettrica (massima/media) fornita dal motore ausiliario [kW]; P ORC (max/avg): potenza elettrica (massima/media) fornita dal sistema ORC [kW]; l/NM: litri di carburante bruciati per unità di miglio nautico; kgCO₂h: chilogrammi di CO₂ emessi per ora; tCO₂h/NM: chilogrammi di CO₂ emessi per ora per miglio nautico).

	Fase1				Fase2				Sottofase3a				Sottofase3b			
	Crociera		Pesca a strascico		Crociera		Pesca a strascico		Crociera		Pesca a strascico		Crociera		Pesca a strascico	
	[medio]	[Sd]	[medio]	[Sd]	[medio]	[Sd]	[medi]	[Sd]	[medio]	[Sd]	[medi]	[Sd]	[medio]	[Sd]	[medio]	[Sd]
VS	9.99	0.47	3.76	0.09	9.72	0.59	3.73	0.11	9.74	0.58	3.68	0.08	10.03	0.29	3.65	0.05
FC principale	63.23	7.78	58.73	4.61	57.80	9.55	56.08	5.13	59.34	7.65	59.82	4.29	62.91	2.24	58.43	3.05
FC Aux	-	-	-	-	4.12	0.51	4.26	0.44	4.08	0.39	4.11	0.43	3.58	0.45	3.68	0.46
FC tutti	63.23	7.78	58.73	4.61	61.93	9.54	60.34	5.28	63.39	7.67	63.92	4.25	66.49	2.34	62.12	2.96
P el (max)	-	-	-	-	21.89	7.13	24.48	8.42	23.17	7.03	22.64	7.64	16.85	5.29	21.39	5.35
P el (avg)	-	-	-	-	6.83	5.87	7.52	5.82	4.34	5.58	4.49	5.76	7.03	3.59	7.83	3.43
P ORC (max)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.66	1.49	7.87	1.39
P ORC (avg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.57	1.35	3.76	1.39
l/NM	10.08	1.04	25.02	1.94	9.40	1.24	24.12	2.64	9.68	1.06	26.03	2.01	9.98	0.51	25.62	1.28
Kg CO₂/h	169.45	20.84	157.39	12.36	165.96	25.56	161.71	14.15	169.89	20.54	171.32	11.40	178.20	6.28	166.47	7.92
Kg CO /NM₂	27.02	2.79	67.06	5.19	25.18	3.34	64.65	7.08	25.93	2.83	69.75	5.38	26.76	1.38	68.65	3.42

Tabella 8. Sintesi dei principali parametri ambientali che descrivono l'impatto del sistema ORC sull'attività complessiva dell'imbarcazione del caso studio, disaggregati per fasi di monitoraggio (Fase 1,2,3) (sbarchi: peso totale del pesce sbarcato in kg; carburante: quantità totale di litri bruciati; CO₂: peso totale in tonnellate di CO₂ emesso; CO₂/sbarchi: peso di CO₂ in kg per unità di peso in kg di pesce sbarcato; Miglia: miglia nautiche percorse; Carburante/Miglio: carburante bruciato per unità di miglio nautico; sbarchi/Carburante: peso in kg di pesce sbarcato per litro di carburante bruciato).

	Anno	Mese	Monitoraggio	Tempo di esecuzione [ore]		Carburante		Sbarchi	Carburante/ Sbarchi	CO ₂		CO ₂ /Sbarchi
				Fase		[l]		[kg]	[l/kg]	[tonnellate]		[kg/kg]
				Crociera	Traino	Crociera	Traino			Crociera	Traino	
Fase 1	2017	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2017	2	1	240.52	211.40	13,777	12,023	154,620	0.08	36.9	32.2	0.21
	2017	3	1	243.45	181.70	14,666	10,912	124,333	0.09	39.3	29.2	0.24
	2017	4	1	168.85	134.33	9,722	7,579	93,154	0.08	26.1	20.3	0.22
	2017	5	1	308.08	220.03	18,556	12,648	138,092	0.09	49.7	33.9	0.25
	2017	6	1	259.88	193.05	16,294	11,725	123,543	0.09	43.7	31.4	0.25
	2017	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fase 2	2017	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2017	9	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2017	10	2	188.82	160.25	10,243	8,443	177,510	0.05	27.5	22.6	0.13
	2017	11	2	196.98	179.28	11,236	10,229	202,561	0.05	30.1	27.4	0.14
	2017	12	2	195.10	171.27	11,391	9,970	155,951	0.06	30.5	26.7	0.17
Fase 3	2018	1	3	298.68	250.05	17,527	14,533	134,440	0.11	47.0	38.9	0.29
	2018	2	3	173.43	145.22	9,918	8,320	83,545	0.10	26.6	22.3	0.27
	2018	3	3	274.10	232.65	16,124	13,652	121,371	0.11	43.2	36.6	0.30
	2018	4	3	264.50	223.40	16,233	13,667	101,885	0.13	43.5	36.6	0.36
	2018	5	3	335.63	271.20	20,330	16,325	114,619	0.14	54.5	43.8	0.38
	2018	6	3	289.87	246.40	17,694	15,068	82,597	0.18	47.4	40.4	0.49

7. Discussione

L'impatto del sistema ORC è stato valutato sotto il profilo tecnico e ambientale. In base al numero di osservazioni condotte durante la fase di monitoraggio, è possibile discutere alcuni feedback e consigli.

Il consumo energetico dell'imbarcazione è generalmente suddiviso in una parte principale (motore principale, per la propulsione) che rappresenta in media circa l'80-90% del consumo di carburante e la produzione elettrica (motore ausiliario, gruppo elettrogeno "gen set") che rappresenta circa il 10-20%.

L'intervallo di incertezza è dovuto alla differenza tra la fase di pesca a strascico (75% del tempo trascorso in mare, con il motore principale che rappresenta oltre il 90% della richiesta di consumo di carburante dell'imbarcazione) e i dati globali cumulati per l'intera battuta di pesca, tenendo conto della domanda elettrica anche quando il motore di propulsione è utilizzato a basso carico (e quindi il gruppo elettrogeno rappresenta quasi il 20% del carburante).

Un'analisi statistica effettuata dal CNR ha dimostrato che il consumo di carburante del gruppo elettrogeno si riduce di circa il 10% quando l'ORC è in funzione. Ciò significa che, attraverso la misurazione del consumo di carburante, il guadagno dell'ORC è misurato all'1%. Eventuali ottimizzazioni del sistema sono state stimate in un risparmio potenziale fino al 3%.

L'effettivo guadagno in termini di consumo energetico ottenuto con il sistema ORC non è stato facile da stimare, in quanto rispetto all'intero consumo energetico del peschereccio, l'ORC rappresentava circa la percentuale. Inoltre, sebbene il tempo a disposizione per il monitoraggio fosse adeguato per valutare l'influenza del sistema ORC sui flussi energetici del peschereccio, il numero di giorni lavorativi effettivi non ha permesso un'efficace ottimizzazione del sistema, che avrebbe potuto aumentare sensibilmente la produzione di energia e ridurre il consumo di carburante.

A causa dell'elevata variazione delle variabili chiave calcolate durante le fasi di monitoraggio, l'impatto effettivo, se analizzato come valori medi, non può essere rappresentato correttamente. Per questo motivo, l'impatto effettivo sul consumo di carburante è stato descritto sia con un approccio generale sia attraverso un'analisi più approfondita di una singola battuta di pesca, scelta come rappresentativa di un'attività lavorativa standard del peschereccio.

Nonostante alcuni studi abbiano permesso di definire cifre di riferimento che mettono in relazione il carburante consumato o i gas serra emessi con la quantità di

pesce sbarcato, nell'ambito del progetto EfficientShip non è possibile valutare correttamente la consistenza degli indicatori relativi agli sbarchi, poiché la variabilità a breve termine della quantità di pesce catturato potrebbe essere legata a una serie di fattori non valutabili.

In sostanza, la quantità di pesce che può essere catturata non può essere considerata un valore costante nel breve periodo. Questo rende impossibile modellare qualsiasi correlazione degli sbarchi con altre variabili come il tempo o i litri di carburante nel breve periodo.

Ciò consente di affermare che un'eventuale azione volta a ridurre l'impatto ambientale non potrebbe influire sulla capacità di cattura del peschereccio e questo è utile per un maggiore coinvolgimento del settore della pesca.

Per ottenere risultati più precisi in un breve periodo, la scelta di due serbatoi di carburante separati per il motore di propulsione e il motore del gruppo elettrogeno con misuratori metrologici avrebbe contribuito a corroborare la misura del consumo istantaneo di carburante e a ridurre l'incertezza nelle misure di carburante.

Inoltre, un monitoraggio dell'energia elettrica per ciascun ausiliario elettrico avrebbe contribuito a valutare con maggiore precisione i consumi elettrici senza e con ORC e a corroborare le misure della domanda elettrica globale.

Il sistema ORC installato e testato ha dimostrato un potenziale di riduzione del consumo di carburante del peschereccio. La tecnologia adottata può essere considerata adattabile in termini di stato dell'arte e di evoluzione dei componenti. I principali problemi tecnici incontrati sono stati dovuti a una serie di questioni impreviste relative all'effettiva implementazione del sistema, appartenenti a come montare tecnicamente il sistema a bordo, come gestire le vibrazioni e altri effetti legati a un ambiente così aggressivo come la sala macchine di un peschereccio. Inoltre, lo scambiatore di calore ha mostrato un'efficienza di trasferimento del calore inferiore a quella prevista.

La maggior parte dei problemi tecnici è stata risolta e questo ha rappresentato un'importante serie di lezioni apprese che garantiranno un solido background di competenze per le applicazioni future. **La più rilevante è riferita al tipo di tecnologia per il recupero del calore, che dovrebbe prendere in considerazione l'uso del calore proveniente dal sistema di raffreddamento del motore principale, anziché l'uso dei gas di scarico.**

Quest'ultima soluzione risulta troppo complicata e rischiosa per la stabilità del

sistema ORC, mentre l'uso del sistema di raffreddamento del motore principale potrebbe consentire un'architettura del sistema ORC più semplice e una maggiore stabilità nel funzionamento del sistema ORC, anche se l'efficienza termica potrebbe essere ridotta dalla minore temperatura della sorgente calda.

2 Strategia per rendere le reti da strascico meno impattanti

Impronta di carbonio e contributo della pesca di cattura marina all'uso di energia globale

Panoramica della presentazione

Contributo della pesca di cattura marina all'uso globale di carburante e alle emissioni di gas serra

Questioni emergenti sull'uso dell'energia nella pesca e sviluppo di attrezzi a basso impatto e a basso consumo di carburante

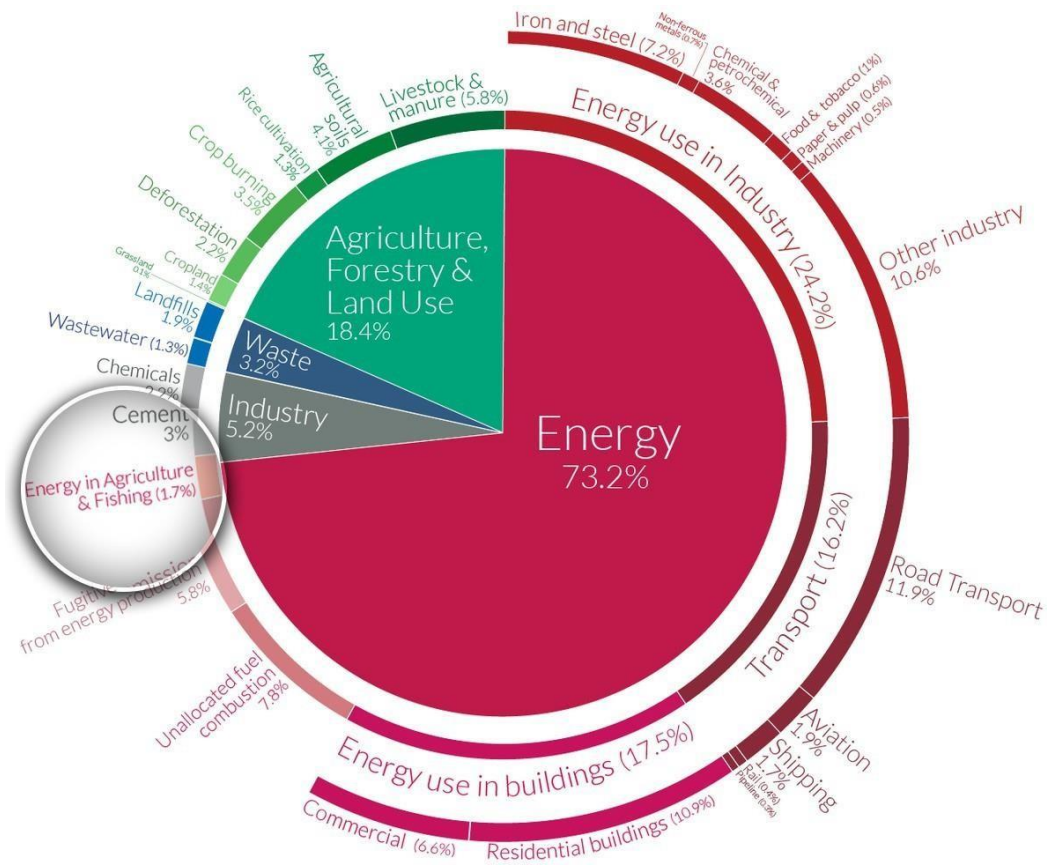
Impronta di carbonio e contributo della pesca di cattura marina all'uso di energia globale

Emissioni globali di gas serra per settore nel 2016 stimate pari a circa 49,4 miliardi di tonnellate di CO₂eq

Studio desk FAO 2021 2022

- Contributo della pesca di cattura marina all'uso globale di carburante e ai gas serra
- Come può essere attenuato
- Quantificazione dell'intensità d'uso del carburante secondo due diversi parametri :

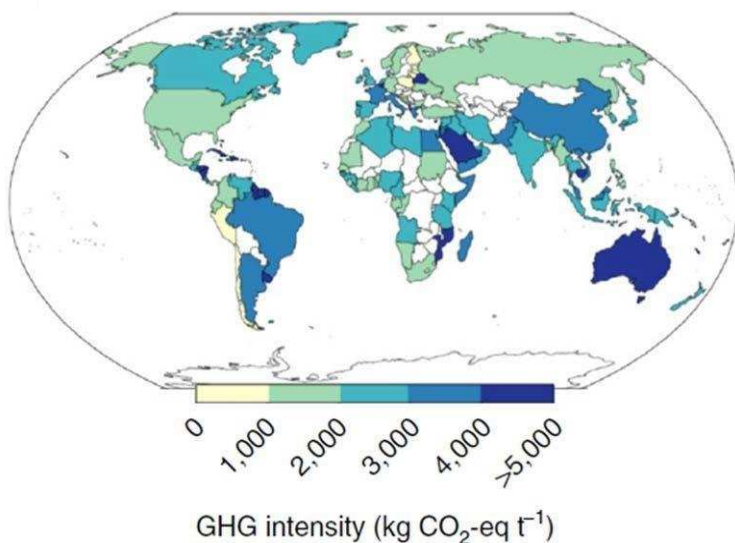
FUI: Litri di carburante bruciati e **GHG:** Consumo proporzionato al pescato
Per identificare i modelli di utilizzo del carburante e le emissioni di gas serra nelle diverse attività di pesca



Intensità dell' uso di carburante basata sulle catture (Primo approccio)

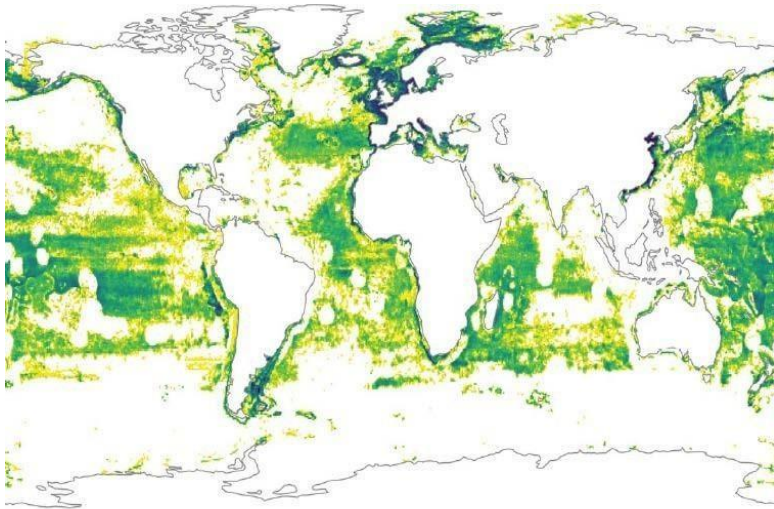
Utilizzare l'intensità dell'uso del combustibile (FUI) e i dati sugli sbarchi per dedurre i livelli globali, specifici di un bacino o di altro tipo di uso aggregato di combustibile e da questi le emissioni di gas serra

Intensità del Consumo di Carburante FUI → Sbarchi Globali → Uso Globale di Combustibile



Intensità di utilizzo del carburante basata sullo sforzo (Secondo approccio)

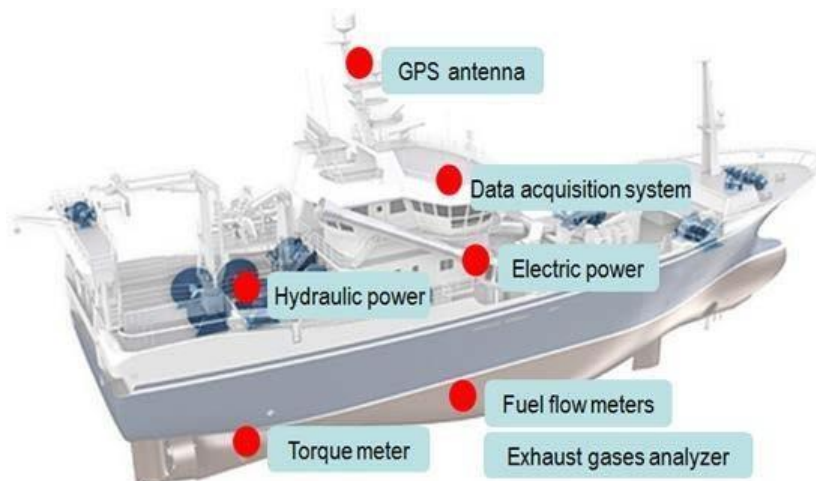
Basarsi sullo sforzo esercitato dalle flotte di pesca motorizzate per stimare il consumo di carburante e le emissioni di gas serra a livello regionale o globale



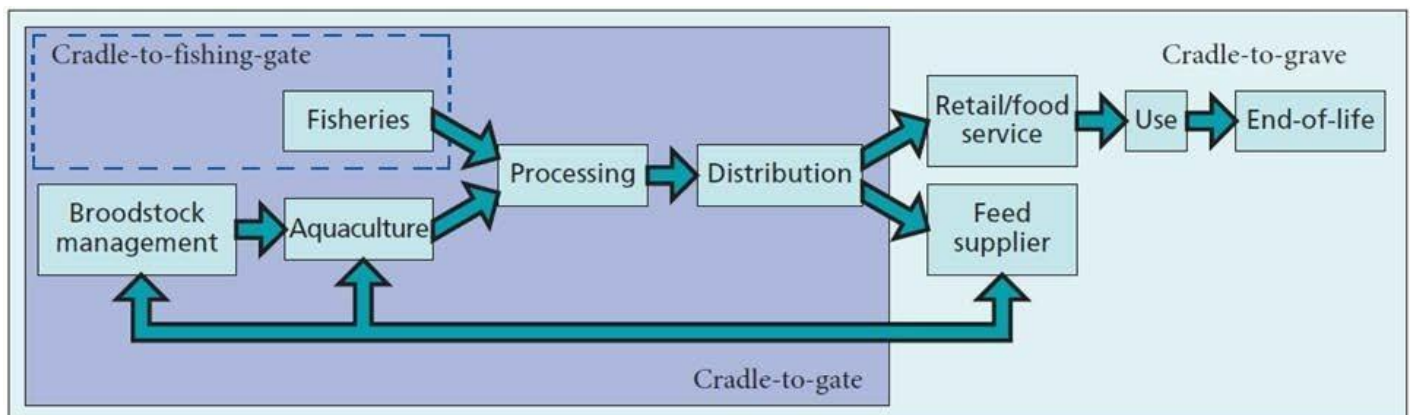
Tasso di Consumo del combustibile → Sforzo Globale → Uso Globale di Combustibile

Dove va l'energia? Audit energetico nella pesca

Audit dell'Energia e dell'impronta di carbonio nella pesca a strascico



L'audit Energetico è un approccio sistematico per valutare il consumo di energia nel settore della pesca



L'audit energetico è un approccio sistematico per valutare il consumo di energia nel settore della pesca.

Obiettivi

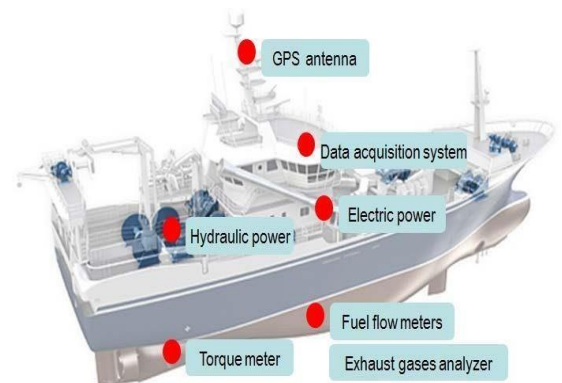
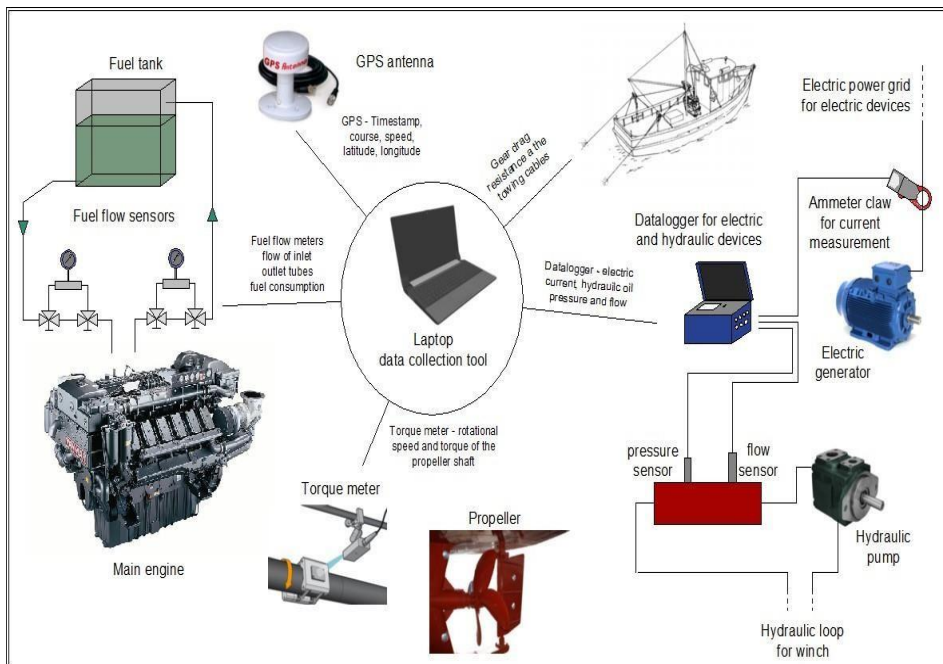
- definire il **profilo energetico** del peschereccio attraverso gli indicatori energetici
- identificare i miglioramenti tecnologici
- valutare i **benefici tecnici ed economici** dei miglioramenti

Caso di studio: Legislazione Europea

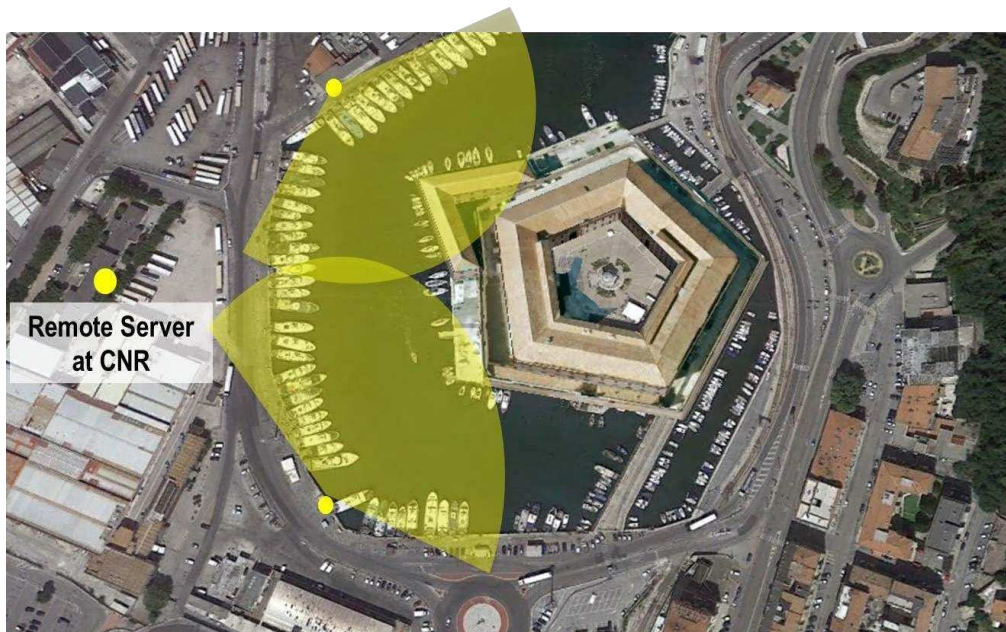
Regolamento (CE) n. 2371/2002 del Consiglio, articolo 33: “ Conservazione e sfruttamento sostenibile della pesca”

Regolamento (CE) n. 744/2008 del Consiglio del 24/07/2008: “ Dovrebbe essere previsto un contributo comunitario anche per le azioni collettive volte a fornire competenze agli armatori in relazione agli audit energetici delle navi “

Caso di studio in Italia: layout del sistema di misura per l'audit energetico nella pesca



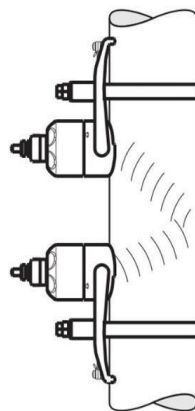
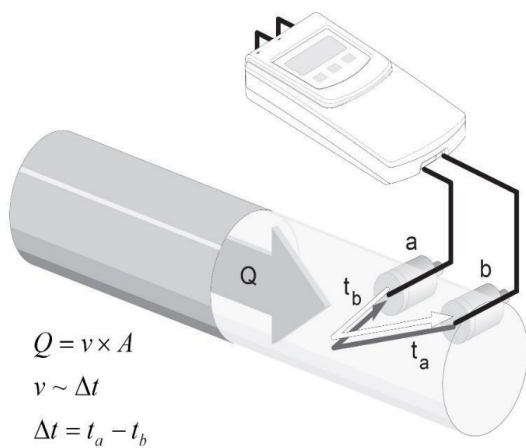
Area Wi-Fi gratuita per pescatori e comunicazione dati



1: Sensore del Flusso di Massa del Carburante



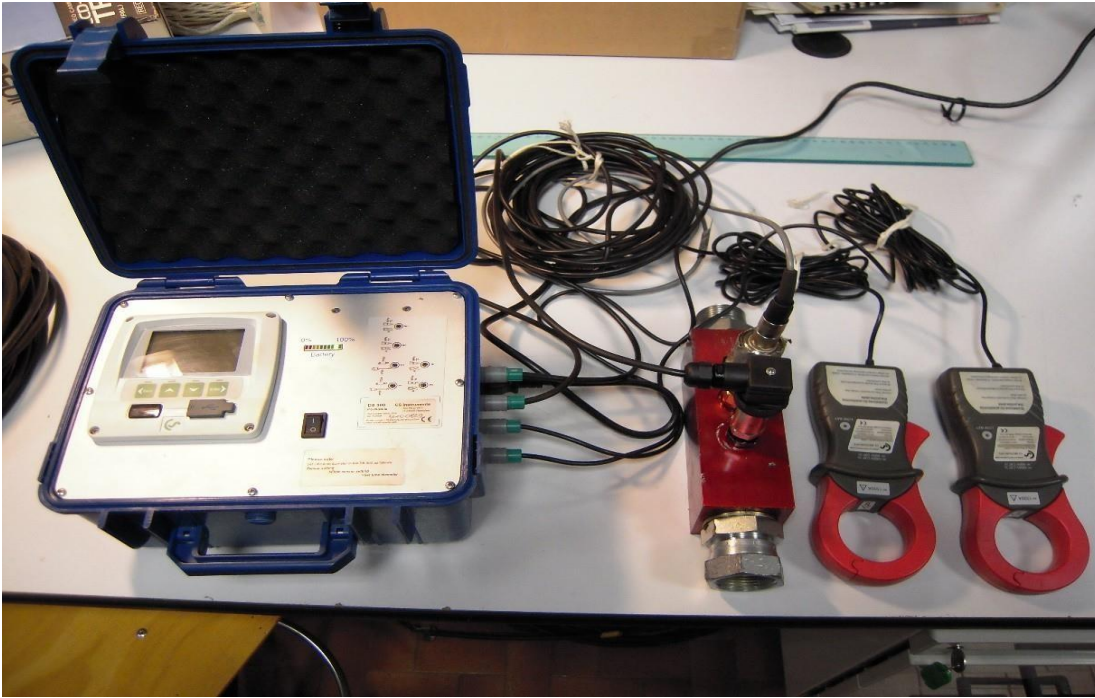
2: Misure di Portata portatile ad ultrasuoni



Sistema di misurazione della Coppia



Sistema di raccolta dati elettrico e idraulico in c.a.



Cella di carico per la misura della resistenza totale dell'ingranaggio



Principali caratteristiche dei pescherecci monitorati

OTB: Peschereccio a divergenti di fondo

PTM: Peschereccio a coppia d'acqua media

TBB: Sfogliatore Rapido

Vessel	VL	LOA [m]	PB [kW]
OTB01	VL1824	21.5	478
OTB02	VL1824	22.8	574
TBB01	VL2440	25.9	884
PTM01	VL2440	28.6	940
PTM02	VL2440	29.0	940
PTM03	VL2440	26.5	870
PTM04	VL2440	25.5	772
PTM05	VL2440	25.9	884
PTM06	VL2440	29.0	940
PTM07	VL2440	27.0	809

OTB: Peschereccio a divergenti di fondo

PTM: Peschereccio a coppia d'acqua media

TBB: Sfogliatore Rapido



Indicatore di prestazione delle emissioni di energia e gas serra

$$\mathbf{EPI = PS / PF}$$

PS : Potenza di Propulsione misurata all' albero intermedio

PF : Potenza Termica del Combustibile bruciato

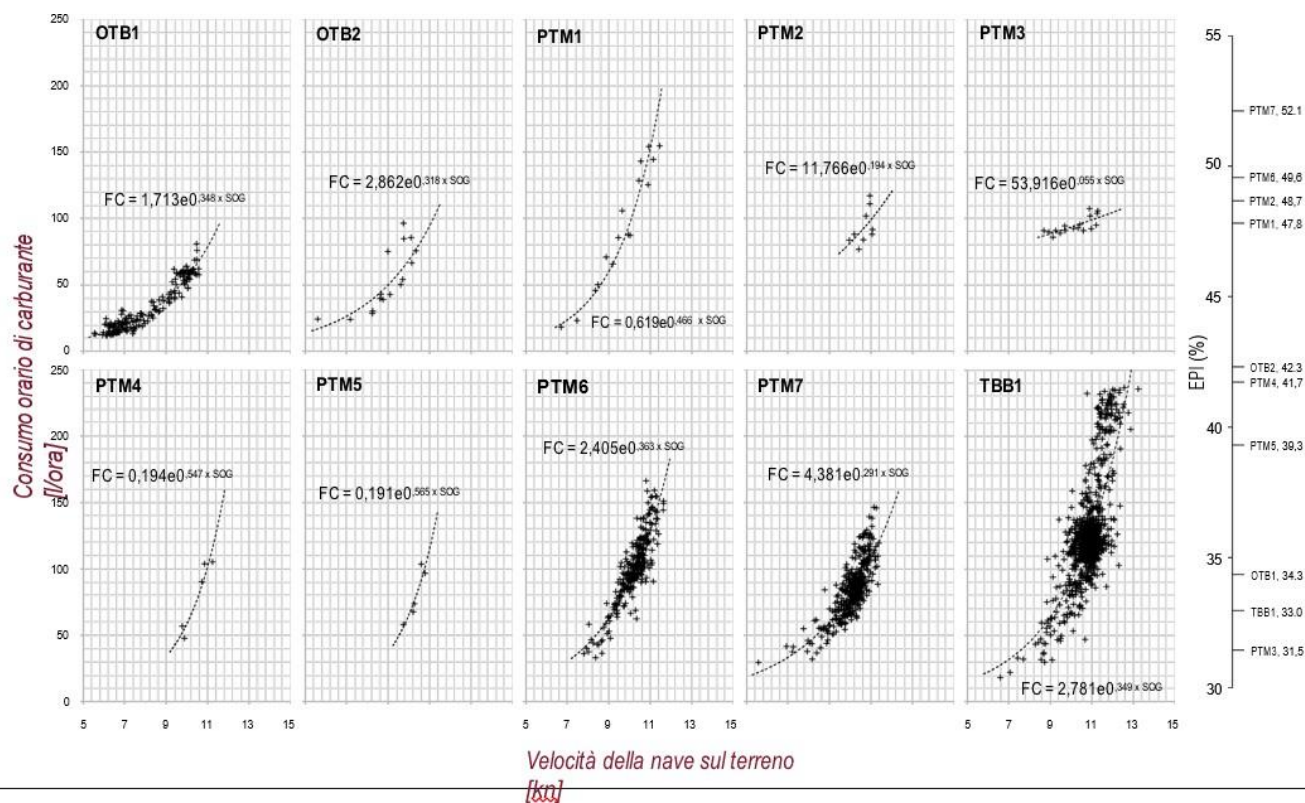
$$\text{GHG [Kg/h]} = \text{FC [l/h]} \times 2640 \text{ [g/l]} \times 10^{-3}$$

FC: Consumo di Carburante

La metrica standard utilizzata per quantificare le emissioni di gas serra è il
“ Biossido di Carbonio Equivalente “.

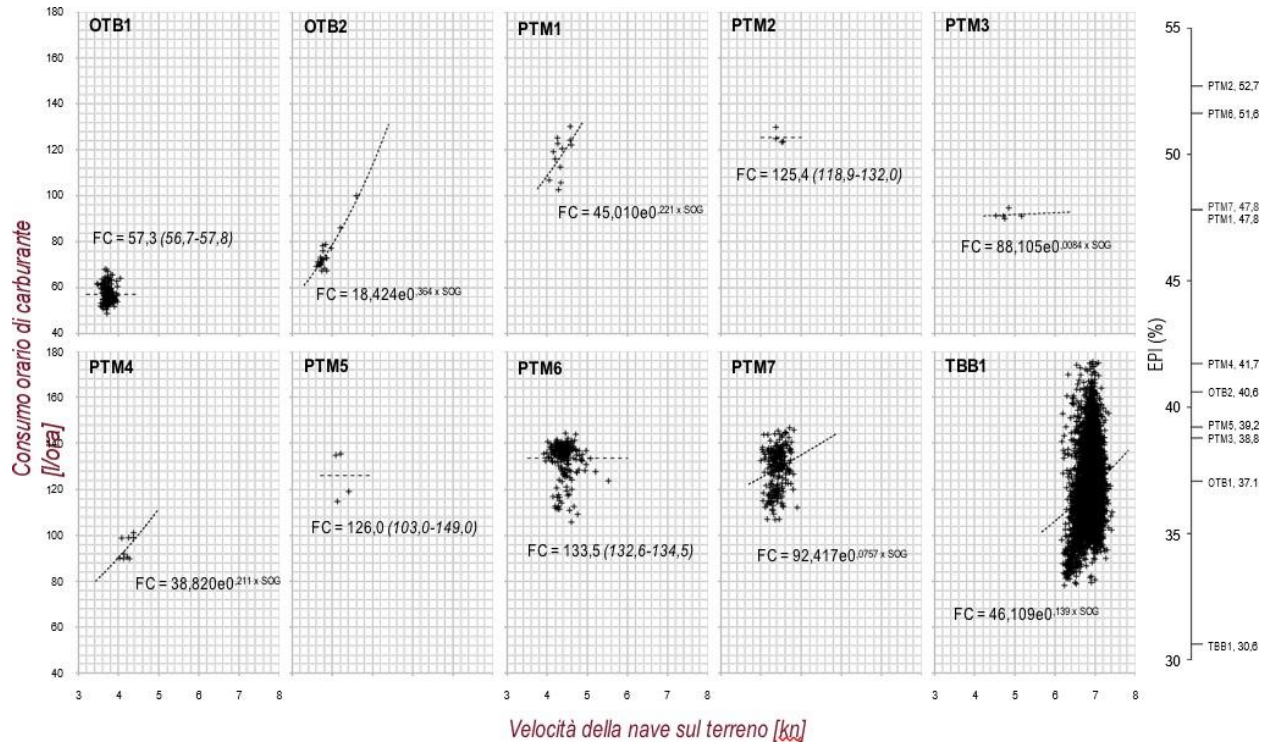
E' la metrica adottata dalla Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui
Cambiamenti Climatici UNFCCC : è utilizzata nei rapporti ufficiali sui gas serra, e
nella definizione degli obiettivi da parte di Paesi e istituzioni, ed è la metrica più
adottata nella letteratura scientifica.

Consumo medio di carburante in condizioni di navigazione a vapore (navigazione o ricerca di pesce)



OTB: Peschereccio a divergenti di fondo
 PTM: Peschereccio a coppia d'acqua media
 TBB : Sfogliatore Rapido

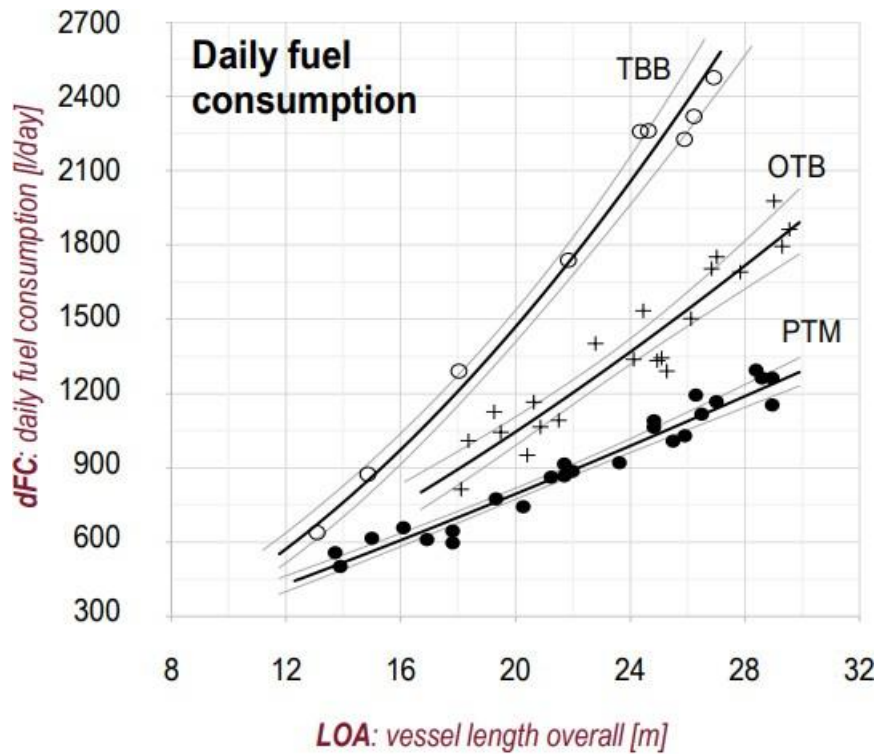
Consumo medio di carburante durante le attività di traino



OTB: Peschereccio a divergenti di fondo
 PTM: Peschereccio a coppia d'acqua media
 TBB : Sfogliatore Rapido

Consumo medio giornaliero di carburante rispetto alla lunghezza complessiva della nave (LOA)

Litri di gasolio al giorno in funzione della Lunghezza della Nave in metri



Modello lineare generale: $FC[l/giorno] = q \times LOA^m$

Parameters/vessel type	Daily consumption (dFC)		
	OTB	PTM	TBB
slope, m	1.470	1.196	1.838
intercept, q	12.811	22.104	5.973
F	158.1	475.7	666.6
$d.o.f$	19	23	7
R -square	0.893	0.954	0.990

Intensità di uso del carburante (FUI) e impronta di carbonio nella pesca a strascico

Ingranaggio	Specie target	FUI	Impronta di carbonio
		[l carburante/t pesce]	[kg CO2/t pesce]
Rete a strascico a divergenti con imbarcazione singola (OTB)	Specie demersali miste	4,085 (3,778-4,391)	10,784 (9,974-11,593)
Fascio rete a strascico (TBB)	Sogliola, <u>murex</u>	5,418 (3,967-6,869)	14,304 (10,472-18,135)
Rete a strascico a coppia d'acqua media (PTM)	Acciuga, sardina	349 (330-369)	922 (871-973)
In generale		2,895 (2,696-3,095)	7,643 (7,116-8,170)

Target species/Gears	FUI [l/t]			
	No.	Min	Max	Mean
Demersal species				
Bottom otter trawls	139	326	17,560	2,970
Beam trawls	2	980	2,610	1,795
Small pelagics				
Midwater otter trawls	26	81	1,097	360
Overall				2,832
All trawl gears				2,469

Ingranaggio	Specie target	FUI	Impronta di carbonio
		[l carburante/t pesce]	[kg CO2/t pesce]
Rete a strascico a divergenti con imbarcazione singola (OTB)	Specie demersali miste	4,085 (3,778-4,391)	10,784 (9,974-11,593)
Fascio rete a strascico (TBB)	Sogliola, <u>murex</u>	5,418 (3,967-6,869)	14,304 (10,472-18,135)
Rete a strascico a coppia d'acqua media (PTM)	Acciuga, sardina	349 (330-369)	922 (871-973)
In Generale		2,895 (2,696-3,095)	7,643 (7,116-8,170)

Impronta di carbonio per kg di prodotto da studi LCA (dalla culla alla vendita al dettaglio).

Vengono aggiunti altri 500 kg di CO₂-eq/t di pesce per tener conto delle emissioni di lavorazione, imballaggio e trasporto

Prodotti	Impronta di carbonio [kg CO ₂ /t pesce]
Frutti di mare da acquacoltura	3,000-15,000
Pollame	2,000-6,000
Maiale	4,000-11,000
Manzo	9,000-42,000
Montone e agnello	10,000-150,000

Stato attuale della ricerca sull'uso dell'energia e sulle emissioni di gas a effetto serra nella pesca

L'uso di carburante e le emissioni di gas serra nel settore della pesca possono essere misurati in diversi modi

Due approcci per stimare il consumo di carburante e l'intensità energetica di specifiche attività di pesca

Un approccio utilizza l'intensità del consumo di carburante (FUI) basata sulle catture, il secondo utilizza i dati sullo sforzo di pesca.

Entrambi i metodi utilizzano ipotesi

Complementarietà (non contraddizione): le stime globali dell'uso dei combustibili e delle emissioni di CO₂ dovrebbero essere basate su una combinazione di entrambi gli approcci.

Audit energetico nel settore della pesca: Un caso di studio italiano

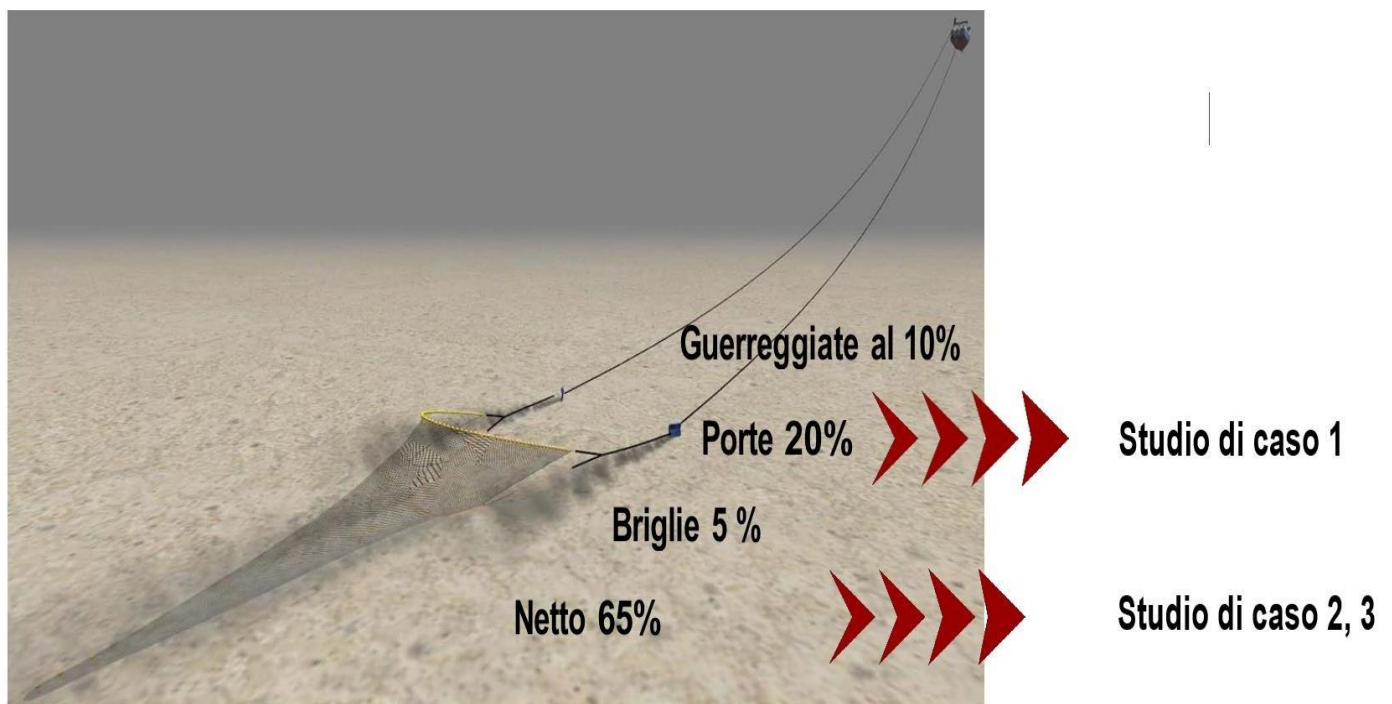
La pesca a strascico nel Mediterraneo utilizza circa 2,9 litri di carburante per ogni kg di pesce.

Il tasso di consumo di carburante varia a seconda del tipo di attrezzo e delle dimensioni della nave: circa 7,6 kg·CO₂/kg di pesce.

Panoramica della presentazione

Questioni emergenti sull'uso dell'energia nella pesca e sviluppo di attrezzi a basso impatto e a basso consumo di carburante

Resistenza degli attrezzi da pesca



Miglioramento del design dell'otter board VF15 contro VEE (Studio del caso 1)

	Parametro		VEE	VF15	Diff.	Diff%
Velocità di traino	TS	[kn]	3.85	3.25	-0.60	-15.6%
Diffusione orizzontale della porta	HDS	[m]	61.13	86.57	25.45	41.6%
Apertura orizzontale della rete	HNO	[m]	19.88	24.61	4.74	23.8%
Apertura verticale della rete	VNO	[m]	1.67	1.70	0.03	1.6%
Tasso di consumo del carburante	FCR	[kg/h]	58.74	48.16	-10.59	-18.0%
Area esplorata in 1 ora di viaggio	AEH	[1000m] ²	141.72	148.15	6.43	4.5%
Consumo di carburante per area esplorata	FCH	[kg/1000m] ²	0.41	0.33	-0.09	-21.6%



Hour/Day	OTB, TBB			
	Mon	Tue-Wed	Thu	Week
Harbour (H)	2	1	15	19
Sailing (S)	3	4	2	13
Towing (T)	19	19	7	64



**Tempo di recupero
circa 15 mesi**

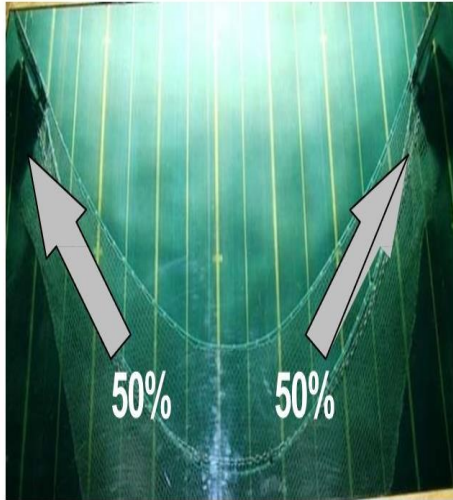


Profilo di una nave di Ancona (Italia)

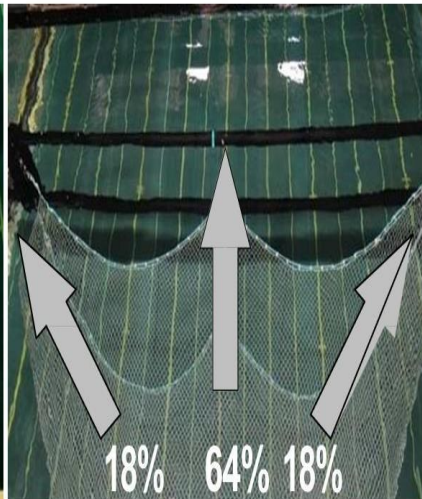
Ore di pesca a strascico/settimana	64
Settimane lavorative all'anno	47
Ore di pesca a strascico/anno	3,008
Costo del carburante (EUR/l)	1.00
Consumo VEE (l/ora)	50.5
VF15 (l/ora)	41.4
Investimento in porte	EUR
VEE	3,500
VF15	7,000
Sistema acustico di monitoraggio	30,000
<i>Investimento extra</i>	33,500
Costo del carburante all'anno	
VEE	151,904
VF15	124,531
Confronto	27,373

Concetto di Rete a Strascico a W (Studio del Caso 2)

Rete a strascico tradizionale



Rete a strascico sperimentale a W



Minore resistenza sulle ali



Tavole ottiche di dimensioni ridotte



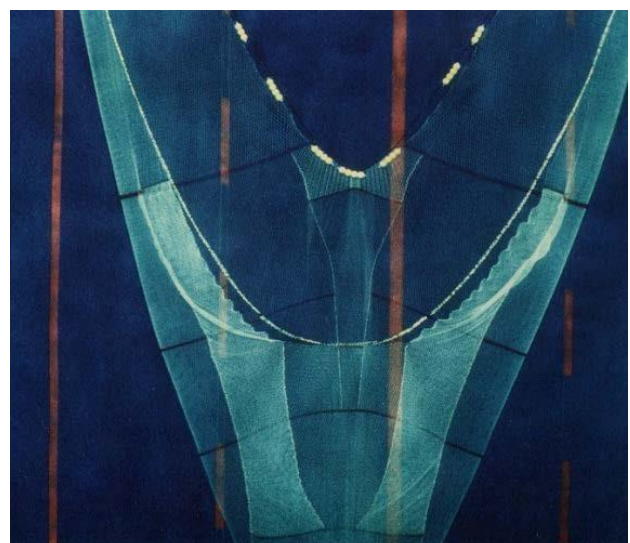
Riduzione della resistenza aerodinamica complessiva (16-24%)

Progettazione di reti e materiali ad alta resistenza (Studio del caso 3)

Tradizionale rete a strascico : Comunemente utilizzato nella pesca commerciale italiana (rete a strascico di riferimento)

Rete a strascico sperimentale: Sezioni di rete di Rubitech annodate nelle ali; nuovo disegno della rete; riduzione della superficie della rete.

Characteristics		N Direction			
RTEX	Mesh bar length [mm]	Breaking load		Tenacity	
		Dry [kg]	Wet [kg]	Dry [g/RTEX]	Wet [g/RTEX]
Knotless PA					
1200	22	43.5	39.1	18.1	16.3
1200	24	43.4	38.7	18.1	16.1
1200	30	35.3	30.8	14.7	12.8
1500	55	41.0	39.0	13.7	13.0
3600	22	95.7	88.1	13.3	12.2
4500	22	127.9	121.0	14.2	13.4
6000	24	144.9	136.1	12.1	11.3
9000	30	256.8	-	14.3	-
Knotted Rubitech					
624	55	92.0	94.6	73.7	75.8



Progettazione di reti e materiali ad alta resistenza (Studio di caso 3)

Confronto tra

Rete a strascico tradizionale

Rete a strascico sperimentale

Velocità Nodi	HP	[l/ora]	HP	[l/ora]	[l/ora]
3.25	274	51.8	254	48.8	3.0
3.50	308	56.6	283	53.1	3.5
3.75	341	61.4	313	57.4	4.0
4.00	375	66.2	343	61.6	4.6
4.25	408	71.0	373	65.9	5.1

	Potenza	Carburante Consumato	Potenza	Carburante Consumato	Carburante Risparmiato
--	----------------	-----------------------------	----------------	-----------------------------	-------------------------------

Profilo di una nave di Ancona

Ore di Pesca a strascico per settimana	64
Settimane lavorative all' anno	47
Ore di Pesca a strascico in un anno	3008
Costo del Carburante (Euro/Litro)	1
Risparmio Consumo Litri/Ora a velocità 4 Kn	4,6
Investimento extra in Ingranaggi in Euro	1470
Risparmio di Carburante in Euro	13836

Il costo totale degli ingranaggi su rete tradizionale è pari ad Euro 2345 su rete sperimentale invece è di Euro 3815

La spesa per il carburante con rete tradizionale in un anno è pari a circa 200 mila Euro, considerando la velocità probabile di circa 4 nodi marini, alla stessa velocità e alle stesse condizioni, la nave con rete sperimentale avrà un consumo stimato di circa 186 mila Euro, e quindi un risparmio, ma a questo occorre sottrarre le spese di investimento aggiuntive necessarie per poter montare la rete sperimentale in questione pari a circa 1500 Euro.

Alla luce di ciò possiamo sostenere che con la rete sperimentale la nave avrà un risparmio di circa 1000 Euro al mese stimato per difetto già il primo anno: anno in cui dovrà ammortizzare la spesa aggiuntiva per gli ingranaggi necessari a montare tale tipo di rete, spesa che verrà ammortizzata in toto con il risparmio dei primi due mesi di esercizio.

Innovazioni e strategie per migliorare l'efficienza energetica

Premiare le migliori pratiche e riorientare i sussidi ai combustibili per incoraggiare lo sviluppo di pratiche di risparmio energetico.

Sviluppo di **tecnologie accettabili** e creazione di incentivi (situazioni win-win)

Obiettivi raggiungibili e realistici

Formazione e assistenza tecnica adeguate

Rendere le industrie parte della soluzione (**modalità proattiva**)

Non **esistono alternative realistiche alla pesca a strascico** per la cattura di determinate specie

3 Studio per l' utilizzo dell' energia eolica in mare



“Le macchine si fanno come si fanno le macchine”: chiunque cerchi di fare qualcosa in modo diverso da come è sempre stato fatto o è un genio o è uno stolto. Il problema è tutto qui, nessuno ha il coraggio di rischiare di essere considerato uno stolto, tanto più se questa possibilità è di fatti una certezza: spesso il genio resta incompreso abbastanza a lungo per non ricordare in vita la sua riabilitazione.

“Voi non potete capirmi, forse in futuro mi capiranno” Pochi purtroppo hanno il coraggio di accettare la possibilità di essere considerati stolti, derisi, e spesso discriminati dai loro colleghi: qualsiasi sia il campo di azione, ma è proprio grazie a quei pazzi che il mondo cambia, e l' ambizione, o meglio la missione di un ricercatore, a mio modesto parere, dovrebbe essere proprio questa: la novità è follia, tutto il resto è solo semplice ricapitolazione, e se rimaniamo fermi

a ricapitolare saremo finiti primi che gli occhi della musa ispiratrice di Pavese ci verranno a prendere: poiché ci troveremo a capitolare con l' intelligenza artificiale, e a quel punto, con un concorrente che ha molti più contenuti di qualsiasi essere umano esistente, non ci sarà storia.

Qual è allora la missione di un ingegnere ?

Trovare soluzioni nuove a problemi nuovi, o anche soluzioni migliori a problemi già risolti: per applicare vecchie soluzioni a vecchi problemi non serve un ingegnere, ma basta e avanza un semplice tecnico che usi informazioni già note.

Proprio per questo, dopo aver analizzato i risultati di due ricerche svolte da autorevoli colleghi all' interno del CNR

Rispettivamente

Uno studio sperimentale relativo all' utilizzo di un sistema a Ciclo Organico Rankine finalizzato al recupero di parte del calore prodotto dal motore in nave con lo scopo di convertirlo in parte in energia elettrica
e uno studio sperimentale fatto sulle reti da strascico al fine di ridurre il loro attrito e di conseguenza in maniera indiretta il consumo delle navi sulle quali queste vengono montate

Non posso non aggiungere almeno una mia ricerca personale, che non si baserà su una vera e propria sperimentazione, forse lo diventerà in futuro, ma su una

sorta di simulazione di sperimentazione.

3.1 Introduzione

Verrà ipotizzato di montare una turbina eolica di tipologia stabilita e con caratteristiche definite su una nave da pesca, quindi andrò a reperire i dati meteorologici dei nostri porti gentilmente forniti dal collega Dottor Pierluigi Penna, e sulla base di questi valuterò in maniera verosimile quale potrebbe essere la produzione di corrente fornita da tale turbina eolica quando questa sarà in funzione e sottoposta alla velocità del vento che abbiamo avuto negli scorsi mesi nei nostri porti dove il nostro istituto di ricerca rileva i dati.

Si partirà col valutare per ipotesi il montaggio di una Turbina DS 300 ad asse verticale della Etneo con un impianto di micro eolico montato su nave peschereccio rapido a strascico, immaginiamo per semplicità, almeno in prima istanza, di calcolare quanta corrente questa possa produrre durante il periodo di fermo: ossia quando la nave è in porto, e faremo riferimento per questo ai dati ISPRA relativi al nostro porto di Marina Dorica. Abbiamo scelto tale tipologia di turbina per diversi motivi, in particolare il suo asse verticale ci permette di non doverci preoccupare di quale sia la direzione del vento, offrendo pertanto una grossa semplificazione. Valuteremo quindi la spesa per montare tale impianto su nave, e lo si confronterà con la spesa in gasolio che si dovrebbe affrontare per produrre gli stessi kWh affidandosi ad un gruppo elettrogeno normalmente montato su nave, e che ovviamente non

abbiamo l'ambizione di eliminare, ma solo di integrare con tale tecnologia laddove da tale ricerca si evincesse che ciò possa essere conveniente. È stata scelta tale ditta, e tale pala non a caso, ma poiché la stessa ha avuto un'esperienza in Asia, dove però presumibilmente i dati meteorologici, che sono quelli che poi faranno la differenza, saranno indubbiamente diversi, e per questo non è affatto scontato che ciò che possa avere senso in Asia possa avere senso anche nei nostri porti, o a largo dei nostri mari: in particolare il medio Adriatico. Ma passiamo a dare i numeri, come se finora non li avessi dati in senso figurato e non letterale nella prefazione.

3.2 Studio di Fattibilità

Partiamo anzitutto con il confronto che verrà utilizzato quale riferimento: un gruppo elettrogeno montato in nave può avere verosimilmente **un rendimento globale del 45%** e andrà a convertire l'energia termica sviluppata dalla combustione del **gasolio**: pari a circa **40 MJ/Kg** pertanto il **potere calorifico** che si sfrutterà presumibilmente con la combustione dello stesso in un gruppo elettrogeno potrà essere **18 MJ/Kg**. Poiché però siamo abituati a valutare il gasolio in litri applicheremo la conversione moltiplicando tale valore per la **densità del gasolio** pari a circa **0,83 kg/l** e otterremo il valore finale di circa **15 MJ/l** che, riprendendo i dati della soprastante ricerca relativa le reti da strascico, ipotizzeremo costino **1 Euro al litro**. Poiché però solitamente nella nostra cultura popolare non siamo abituati a fare i conti con i **MJ** bensì

con i **KWh** semplicemente faremo la **conversione** tenendo conto del fatto che una ora è composta da 3600 unità di tempo: secondi. Pertanto

$$15 \text{ MJ/l} : 3600 \text{ s/h} = 4,2 \text{ KWh/l}$$

Ora sulla base di questi dati e di queste conversioni possiamo affermare che attualmente sulle nostre navi da pesca un KWh di corrente elettrica prodotta in loco costa solo in termini di consumo di carburante circa

$$1 \text{ Euro/l} : 4,2 \text{ KWh/l} = 0,24 \text{ Euro/KWh}$$

Terremo a mente questo dato poiché sarà indispensabile per capire quale utile ci potrà eventualmente portare il nostro impianto micro eolico, e a fronte di quale spesa.

Ora di seguito sono riportate delle foto relative al risultato finale sull'esperienza dell'azienda fornitrice di pale eoliche:

Foto di Peschereccio presumibilmente asiatico con Turbina Eolica ad asse verticale Savonius acciaio e alluminio denominata DS300 della Etneo.

In realtà la stessa ditta ha montato la stessa turbina anche su navi di diversa tipologia, e solo a titolo illustrativo saranno riportate qui sotto delle foto che ci sono state fornite.



Figura 1 Nave da pesca con pala eolica

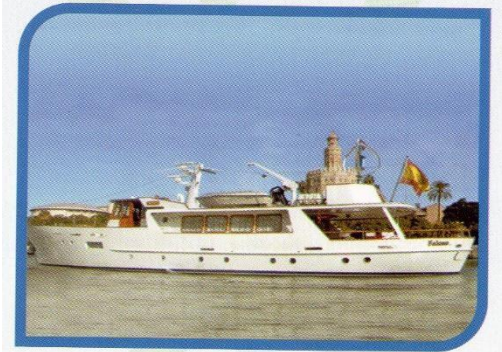
Nave Peschereccio con Turbina Eolica Etneo DS300 praticamente lo stesso identico caso che vogliamo analizzare.

Sotto invece abbiamo delle turbine anche di tipologia diversa, e soprattutto su navi di tipologia diversa, e lo scopo è solo illustrativo: non terremo conto di tali ipotesi in una questa ricerca.



Nave da Crociera o Nave turistica con ben 2
Turbine Eoliche DS 700 di diametro più grande
rispetto a quella da noi presa in considerazione.

Stessa turbina anche nelle foto sottostanti relative
ad imbarcazione di tipo privata e imbarcazione di
proprietà della guardia costiera del paese in cui
tale operazione è stata effettuata.



Tali foto servono solo a dimostrare la fattibilità
in altri paesi del Mondo, ma non danno per
scontato che avremo gli stessi risultati nel nostro
caso, che presto andremo ad analizzare.



Figura 2 Diverse tipologie di navi con pale eoliche

Non si esclude ovviamente l'ipotesi anche di poter montare le stesse tipologie di turbine su piattaforme marine piuttosto che su nave, su boe, e ovviamente in sinergia con impianti fotovoltaici integrati: come da foto seguenti, tutte mirate a dimostrare che tale esperienza non è nuova, bensì è già stata realizzata in altri luoghi, soprattutto dove il meteo sia molto favorevole nei termini che occorrono al corretto, efficace ed efficiente funzionamento di tali tecnologie.

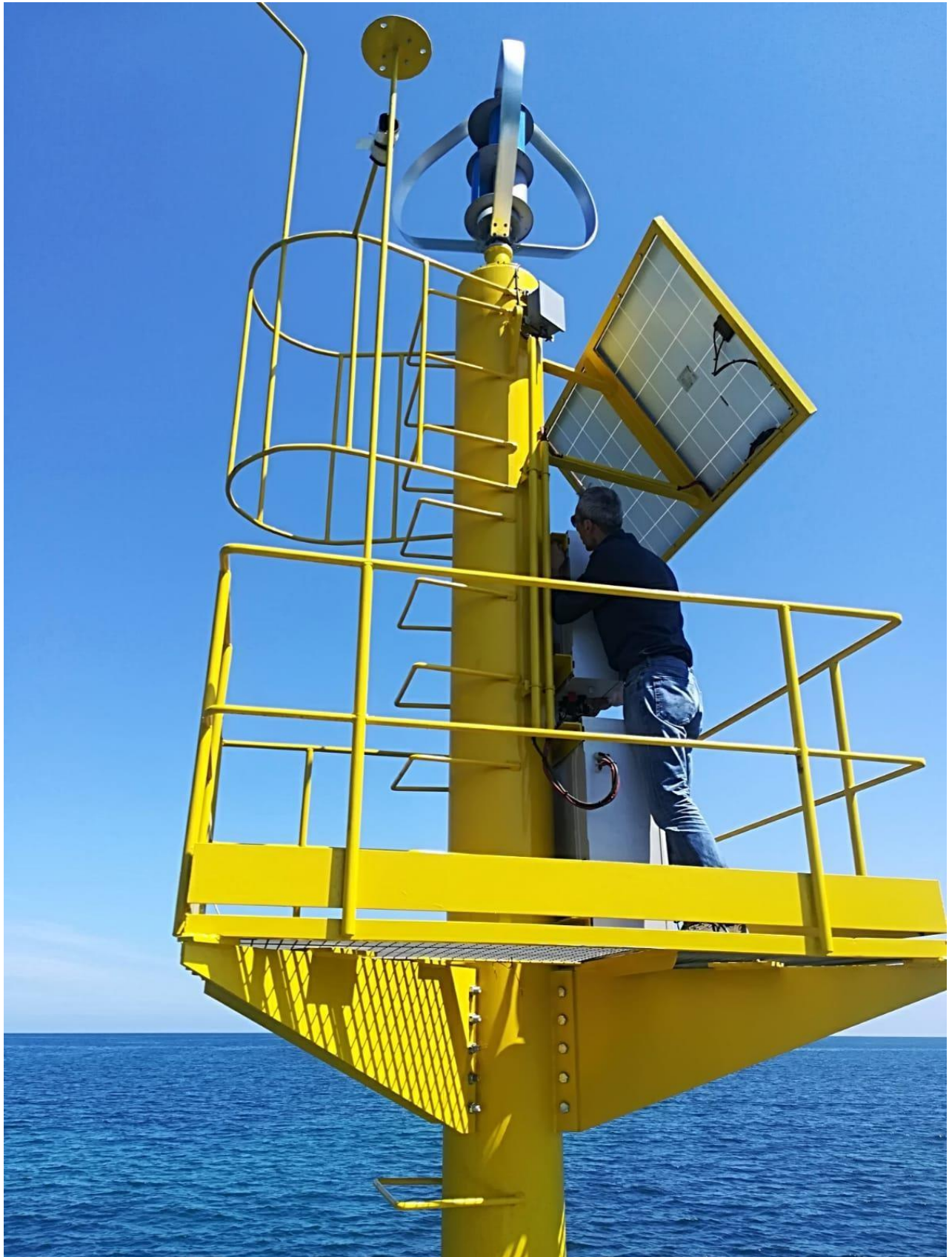


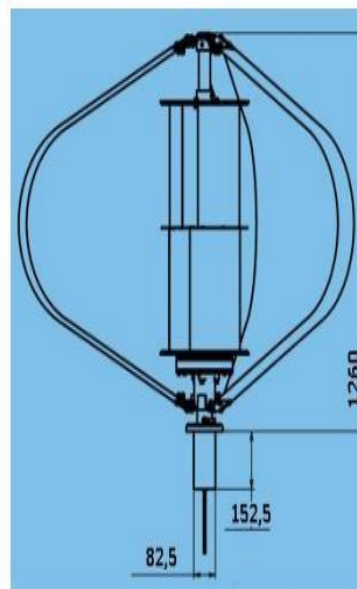
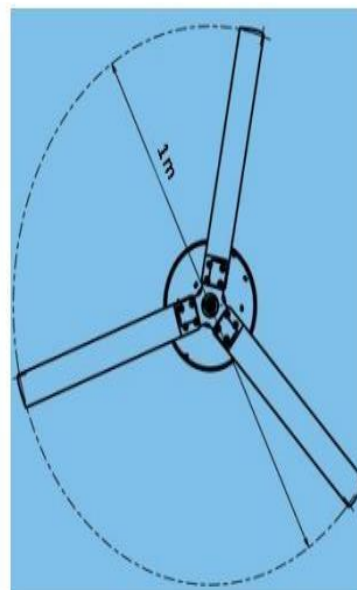
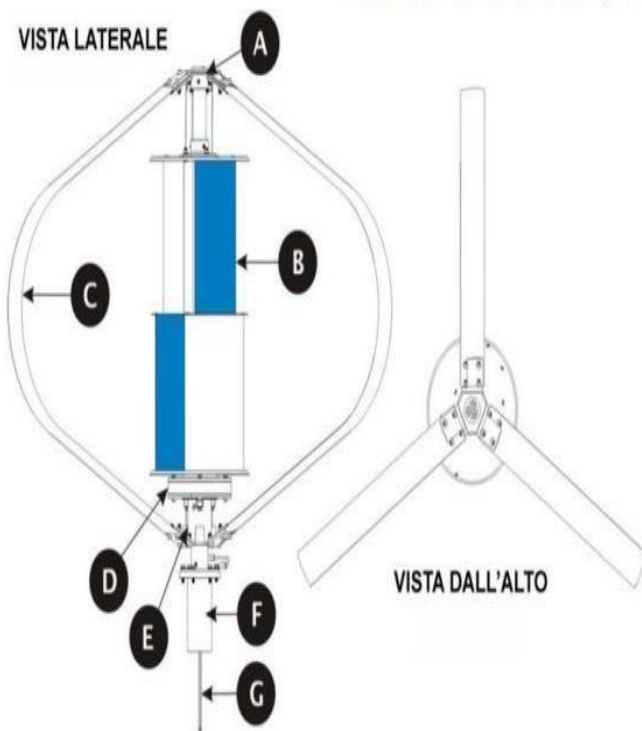
Figura 3 Boa Marina con impianto in fase di montaggio



Figura 4 Boa marina con impianto eolico e fotovoltaico

Andiamo ora ad analizzare nello specifico le caratteristiche della Turbina Etneo DS300 e i relativi componenti e schemi di impianto che abbiamo preso in considerazione nel presente studio

MICRO WIND 300W/500W



ETICHETTA	DESCRIZIONE ARTICOLO
A	Piastra superiore per fissaggio pale di Darrieus
B	Sistema di Savonius
C	3 Pale di Darrieus
D	Generatore trifase a magneti permanenti a chiusura stagna
E	Piastra inferiore per fissaggio pale di Darrieus
F	Smorzatore
G	Cavi elettrici per generatore trifase

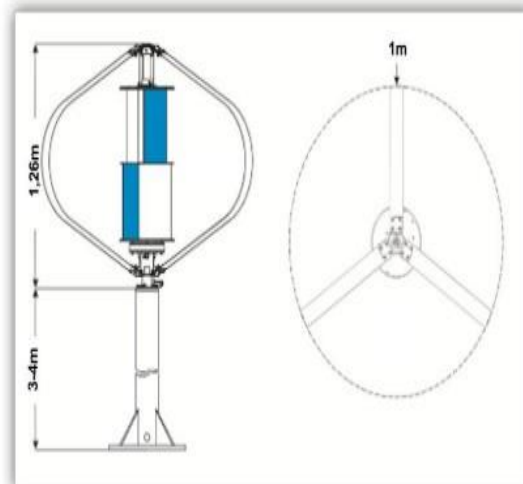
Componenti



TURBINA EOLICA DS300

MICRO EOLICO 300W PER ACCUMULO

Specifiche turbina micro eolica DS300			
Potenza nominale	300W	Velocità potenza max.	15 m/s
Potenza massima	500W	Velocità di cut-in	<3 m/s
Velocità di Cut-out	15.5 m/s	Velocità del vento max.	60 m/s
Dimensioni/Peso			
Diametro rotore	1 m		
Altezza rotore	1.26 m		
Altezza palo	4.00 m (minimo)		
Altezza totale	5.06 m (minimo)		
Peso turbina	25.5kg senza palo		
Specifiche rotore			
Pale Darrieus	3 lame		
Pale	2 livelli		
Savonius			
Materiale pale	Alluminio anodizzato		
Materiale asse	SS400 acciaio trattato		



La turbina DS300 è un generatore micro eolico ad asse verticale con dimensioni 1m di diametro per 1,26 di altezza, pesa 25Kg e viene solitamente montato su pali da 2 a 6m massimo di altezza.

Componenti



TURBINA EOLICA DS300



Il controller ibrido, per batterie a 24V, è in grado di gestire in totale autonomia la sorgente eolica e il suo accumulo nel pacco batterie. La tecnologia avanzata permette un controllo accurato su tutti i valori generati, velocità turbina, potenza erogata, capacità di energia immagazzinata. Il prodotto è inoltre resistente all'acqua e dotato con tutte le protezioni per corto circuito, sovracorrente o tensione. È infine dotato di uscita RS232-USB che permette una comoda gestione dei parametri tramite software dedicato da installare su computer.

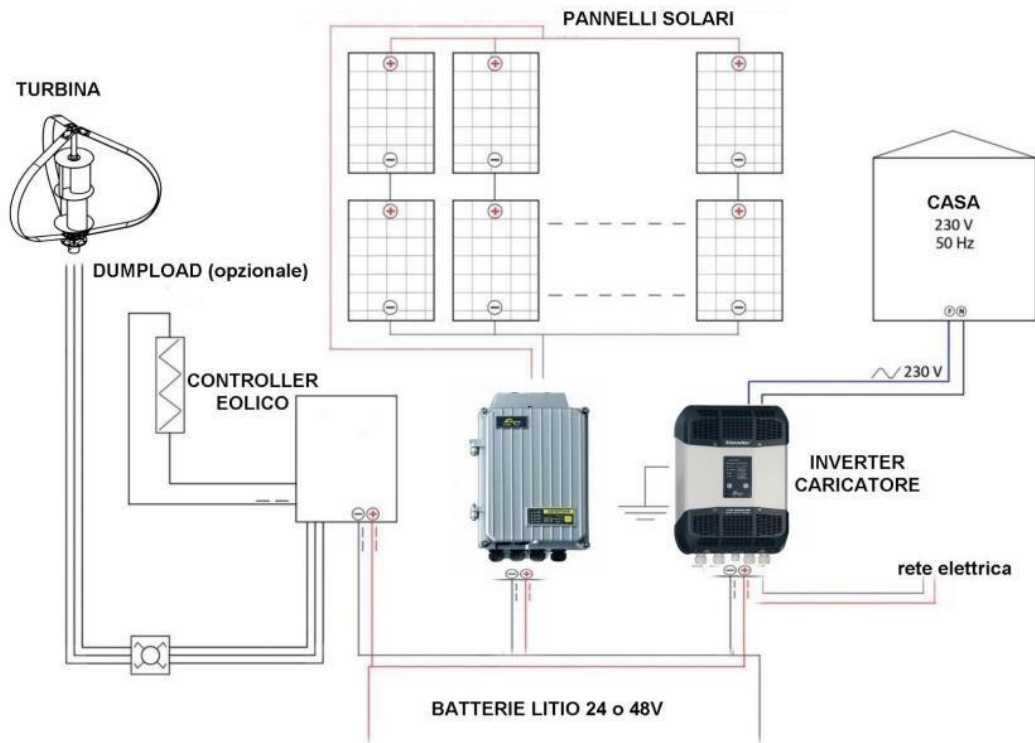
Tale sistema può anche essere abbinato ad un controller solare da 2 pannelli fv con a bordo un chip cellulare per attivare il monitoraggio tramite piattaforma dedicata della generazione di energia, consumo batterie, previsioni meteo ecc...vedi pagine successive.



Components



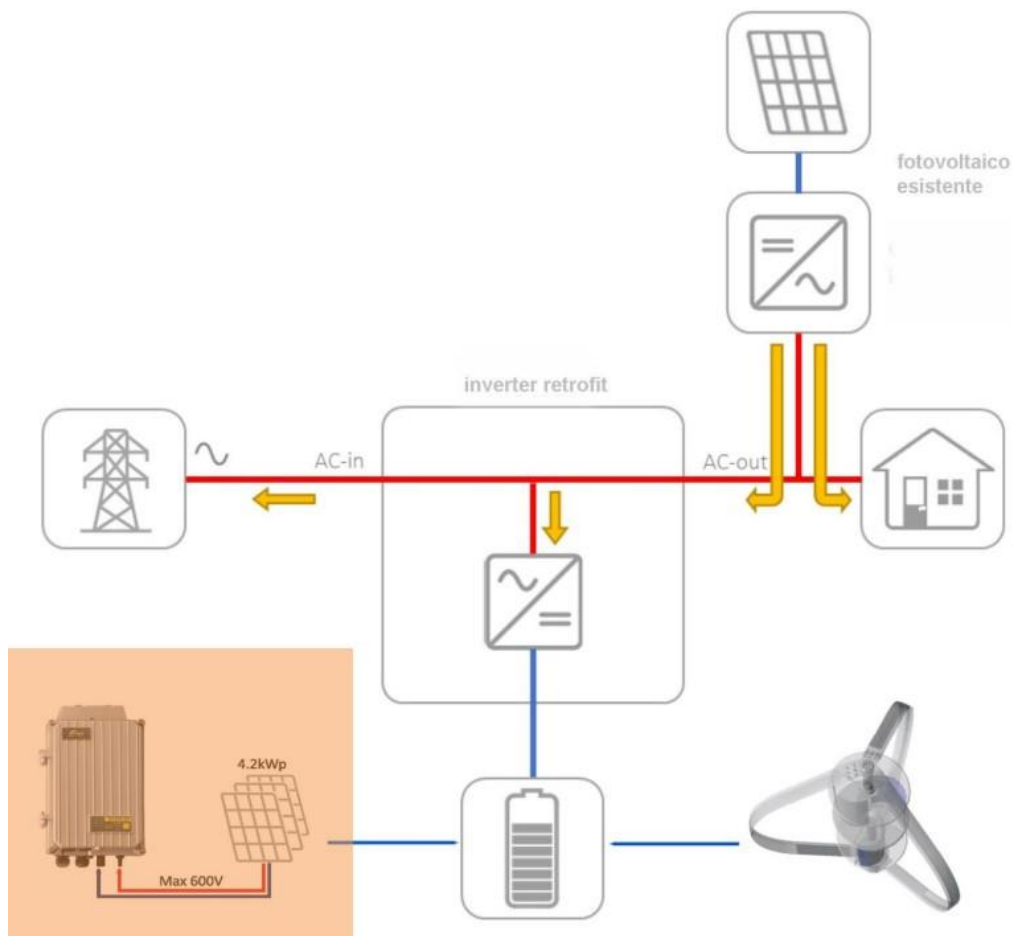
CONTROLLER MAX600



ESEMPIO SCHEMA FOTOVOLTAICO CON TURBINA DS300 ED ACCUMULO OFFGRID 24V



ESEMPIO SCHEMA RETROFIT CA SU FV ESISTENTE ED AGGIUNTA ACCUMULO ED EOLICO A 24V



Lo schema a lato mostra un esempio di retrofit con accoppiamento lato CA di un inverter che gestisce la quota accumulo dal fv esistente, la quota accumulo dall'eolico di nuova installazione, i carichi di casa, lo scambio sul posto della sola energia proveniente da fv esistente. Evidenziato in arancione l'eventuale possibile aggiunta di nuovo fotovoltaico senza allaccio e contatore.

ESEMPIO SCHEMA RETROFIT CA SU FV ESISTENTE ED AGGIUNTA ACCUMULO ED EOLICO A 24V

Ovviamente gli schemi sopra riportati ipotizzano che la turbina possa essere montata sul tetto di una civile abitazione, pertanto considera delle complicazioni aggiuntive che nel nostro caso studio non sono inerenti: nel nostro caso, almeno in prima istanza, non valuteremo l'ipotesi di una integrazione fotovoltaica, seppur la predisporremo per poterla integrare in un eventuale futuro, e non dovremo allacciarci ad un contatore con uno scambio sul posto con la rete civile, ma dovremmo semplicemente andare a ricaricare la batteria della nave in parallelo rispetto a quanto andrà a fare il nostro generatore a gasolio.

Peculiarità della turbina ad asse verticale ibrida DS300

Generatore a magneti permanenti resistenti alle alte temperature per una maggiore durata nel tempo.

Lame Savonius interne per consentire l'orientamento della turbina sui 4 punti cardinali ed una migliore facilità di avviamento della turbina con venti deboli: 3 m/s pari a 10,8 km/h o 5,8 kn

Lame Darrieus esterne per aumentare la produzione di energia con venti medi e forti ed in presenza di eventuali raffiche.

Struttura completamente in metallo (acciaio e alluminio) per maggiore robustezza e durata nel tempo.

Flangia di collegamento al palo e smorzatore di vibrazioni per ridurre le oscillazioni della turbina ed aumentare la sicurezza del fissaggio sul palo.

Piccole dimensioni: quindi idonee per una eventuale installazione su mare o su boa pari a 1,24 metri di altezza per un metro di diametro, e solo 25 kg di peso.

Idonea per installazioni con batterie di accumulo a bassa tensione: 24 Volts : principalmente off-grid ed in soluzioni ibride con fotovoltaico.

Applicazioni della Turbina ad asse verticale ibrida DS300

Soluzioni con accumulo in batterie a 24 V

Impianti retrofit con nuovo inverter in accoppiamento lato alternata su fotovoltaico esistente (dove è installato inverter non ibrido) ed accumulo a 24V

Impianti ibridi off-grid fino a 5 KW di potenza solare con accumulo a 24V

Illuminazione su pali con 1 o 2 pannelli fotovoltaici ed accumulo in 24 Volts

Pali speciali con video sorveglianza, sensoristica, sos emergenza e similari

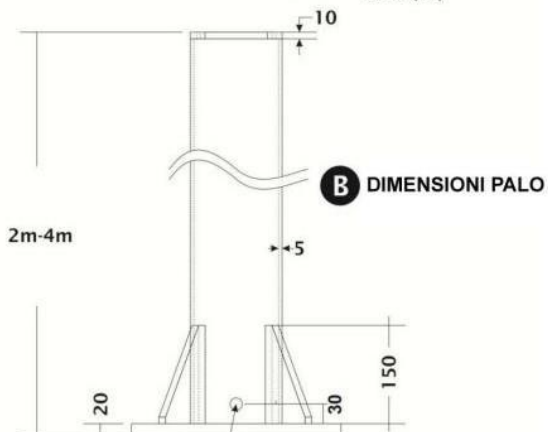
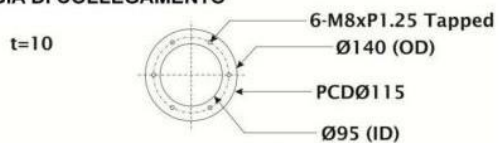
Applicazioni offgrid per alimentare dispositivi sia a bassa tensione 24V che ad alta tensione 220V con inverter idonei

Installazione su fascia costiera, in mare aperto, in alta montagna sicure e garantite in quanto la turbina è robusta e resistente, testata oltre i 4000 metri di altezza ed in mare aperto su piattaforme.

Si monta su pali da 2 a 6 metri di altezza, generalmente di diametro 140 mm e spessore 6mm, i pali possono essere installati a terra o su tetto piano.

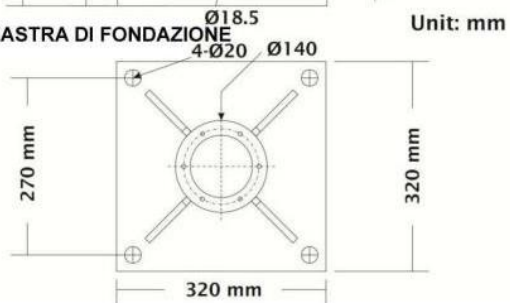
Proprio in virtù delle sopra elencate caratteristiche di tale pala eolica come il fatto che sia già stata usata in mare, che sia possibile usarla in modalità off grid: staccata dalla rete civile in un circuito autonomo magari in sinergia con fotovoltaico, e in accumulo per una batteria a bassa tensione; per le ridotte dimensioni e peso, per la sua capacità di funzionare anche con vento debole e a prescindere dalla direzione dello stesso, per la sua capacità di funzionare anche in ambienti ostili come già detto, per la sua economicità, e per tutti gli altri aspetti sopra elencati abbiamo ritenuto opportuno richiedere loro un preventivo per il nostro studio di fattibilità.

A FLANGIA DI COLLEGAMENTO



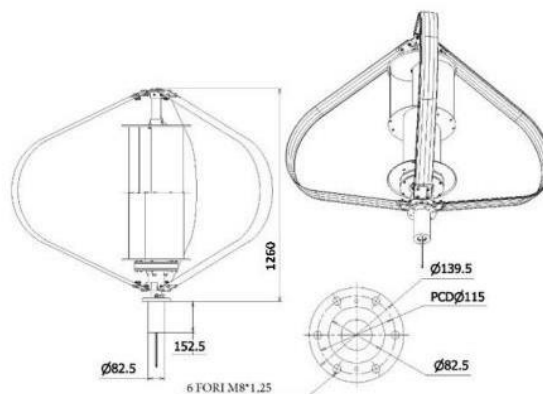
B DIMENSIONI PALO

B PIASTRA DI FONDAZIONE



Unit: mm

Il palo del generatore eolico ad asse verticale deve rispettare principalmente il disegno della flangia di connessione del generatore stesso, è possibile utilizzare pali di diametro inferiore ma rispettando la dimensione della flangia in testa al palo che si deve collegare a pari flangia sulla turbina.

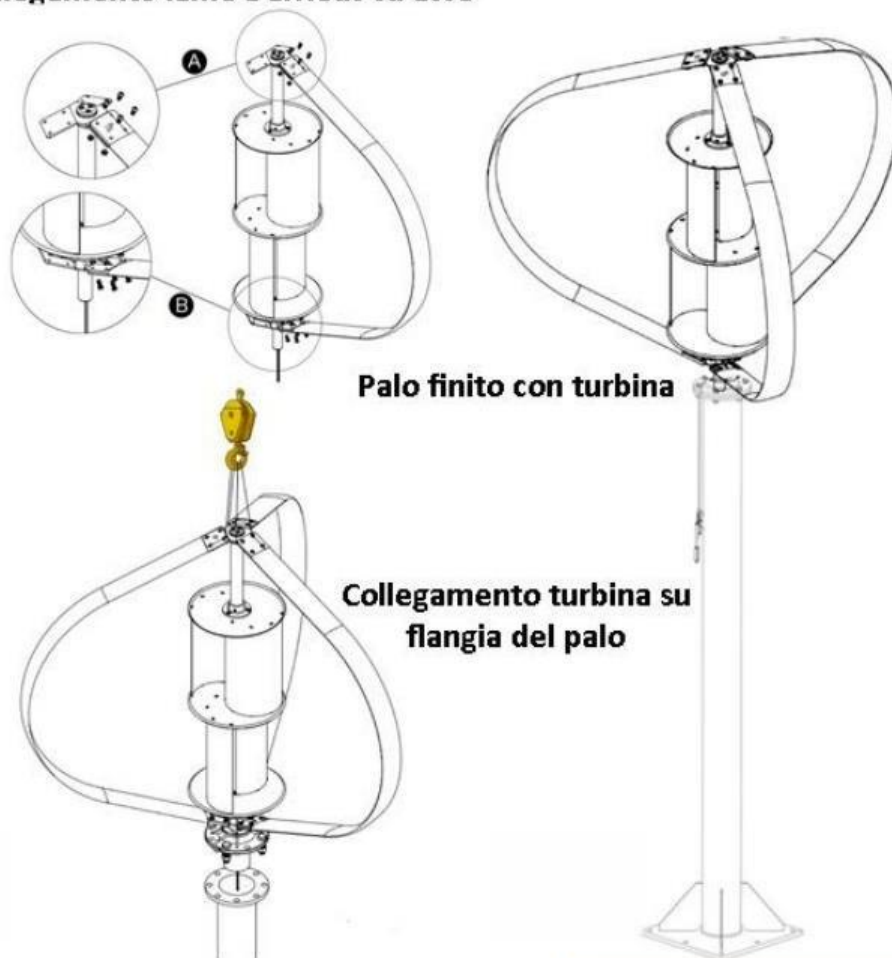


Componenti



PALO TIPO A TERRA

Collegamento lame Darrieus su asse



Palo finito con turbina

**Collegamento turbina su
flangia del palo**

Componenti



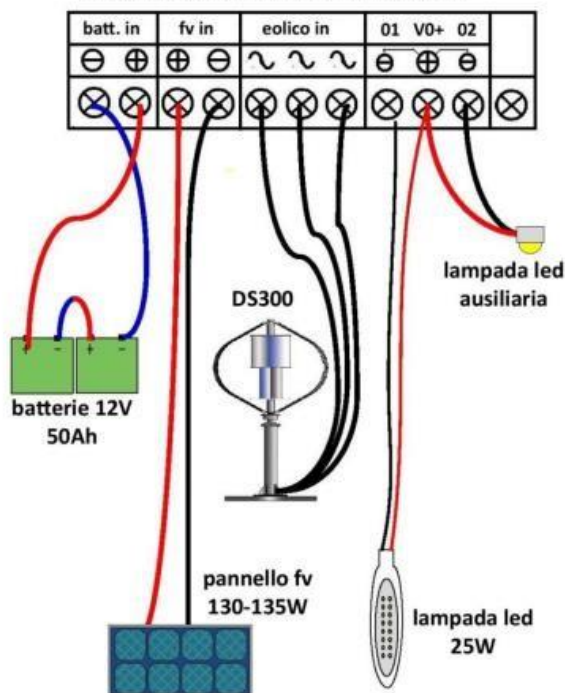
TURBINA EOLICA



Specifiche controller ibrido MAX630



CONNESSIONI SU CONTROLLER IBRIDO



Il controller ibrido è in grado di gestire in totale autonomia le due fonti solare ed eolica ed il relativo accumulo nel pacco batterie.

L'avanzata tecnologia consente un controllo accurato su tutti i valori generati, la velocità della turbina, la potenza in uscita, la capacità di energia accumulata.

Il prodotto è inoltre resistente all'acqua e dotato di tutte le protezioni per cortocircuito, sovracorrente o tensione ecc...



Specifiche controller ibrido MAX630

Caratteristiche	Descrizione
BATTERIE	
Tensione pacco batterie	12-24 oppure 12/24 automatico
Protezione pacco batterie	connessione inversa batterie, sovratensione
TURBINA EOLICA	
Potenza nominale	300-600W
Corrente nominale	25A CC
Corrente massima	35A CC
Massimo numero di giri	500 RPM, impostabile fino a 640 RPM
Protezione turbina	protezione di ingresso, sovrappressione, superamento numero di giri, sovracorrente, fulmini
Metodo di gestione carico	PWM
Controllo MPPT	di tipo boost
CONTROLLER	
Display	crystalli liquidi, gestione a 4 tasti, lettura dei valori di potenza, tensione, corrente, accumulo, numero di giri
Consumo in standby	20-18mA, totale <30mA
Temperatura di esercizio	-40~+65°C
Grado di protezione	IP41
Dimensioni	175x148x84mm
Peso	1,8Kg
Corrente nominale in uscita	14A
Gestione	software dedicato con controller TTI.232, opzionale

Dopo aver valutato l' ipotesi di montare la suddetta turbina eolica su boa, su peschereccio, o su piattaforma off shore, e aver riportato a grandi linee degli schemi possibili, prima di andare a valutare quanto potrebbe realmente produrre e in quanto tempo, e a quali condizioni: sulla base dei dati meteorologici reali dei mesi scorsi, in attesa di un preventivo specifico, sulla base di un preventivo generico,

che valuteremo ovviamente per eccesso, andiamo a valutare quanto dovrebbe produrre la nostra turbina eolica prima di potersi ripagare la spesa relativa al suo investimento. Riportiamo qui di seguito un preventivo generico sulla base del quale andremo a fare le nostre valutazioni.



Offerta kit MICRO EOLICO VERTICALE DS300

Azienda offerente: Etneo Italia srl

Cliente:

A seguito della Vs. gentile richiesta siamo a sottoporVi la ns. migliore offerta per: kit micro eolico idoneo per accumulo in batteria 24V per impianti off-grid o retrofit ma sempre abbinato a fotovoltaico + storage.

Kit micro eolico DS300:

Mini computer per controllo remoto

LISTINO 2.950 € cad. IVA esclusa

NETTO 250 € cad. IVA esclusa

Kit eolico composto da:

- Un (1) micro generatore eolico ad asse verticale di potenza nominale 300W e massima generabile 500W con lame Savonius centrali per avviamento con vento debole e lame Darrieus esterne per aumento produzione con vento medio forte
- Un (1) controller proprietario per la gestione della protezione e della produzione della turbina con cavo e software di monitoraggio via computer e mini computer Windows in dotazione per controllo remoto.

COSA NON VIENE FORNITO:

- Palo di supporto turbina, per il quale possono essere forniti i disegni di riferimento sia per il palo stesso che per le fondazioni in cemento

Rimane inoltre escluso dalla fornitura tutto quanto non specificato sopra.

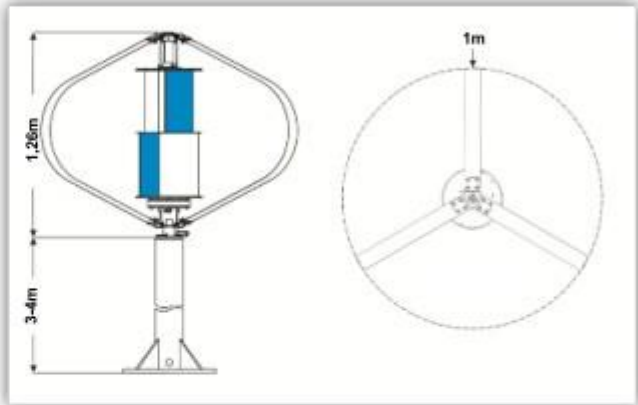

Visto il preventivo generico sopra fornito, in attesa di un eventuale preventivo specifico che faccia al caso nostro, possiamo evincere che solo per l' acquisto dell' impianto si andrà ad affrontare una spesa presunta di Euro 3200 più iva che presumo sia pari al 22% della spesa preventivata pari a 704 Euro per un totale di **Euro 3904**. Ovviamente a questi occorrerà presumo aggiungere le spese necessarie per una installazione in nave: magari sopra uno degli alberi del

peschereccio, oppure su una boa o su piattaforma con l'aggiunta del relativo palo qui sopra citato ma non prezzato.

Immagino solo a titolo accademico, in attesa di ricevere gli eventuali dati economici corretti, ai fini di giungere a dei calcoli e dei dati utilizzabili per il prosieguo di tale ragionamento, che ai 3904 Euro preventivati si possano aggiungere ai fini della installazione circa 900 Euro per raggiungere una cifra finita pari ai 4800 Euro, ovviamente tale cifra è totalmente infondata commercialmente e non possiamo prenderla in considerazione ai fini decisionali ma solo al fine di portare avanti il nostro ragionamento: non esiteremo a modificarla laddove avremo la cifra corretta che però presumo non si discosti molto da quella ipotizzata.

Come scrivevo sopra in premessa, valutando il confronto con il gruppo elettrogeno a gasolio montato in nave, si possono valutare i costi di produzione del KWh elettrico in nave pari ad Euro 0,24. Sulla base quindi di questa cifra possiamo dire che per ammortizzare l'investimento ipotizzato di Euro 4800 occorre che tale impianto produca almeno $4800 \text{ Euro} : 0,24 \text{ Euro/KWh} = 20 \text{ mila KWh}$.

Andiamo a vedere alla luce dei dati tecnici della turbina in questione, e ai dati forniti dalla nostra centralina metereologica ISPRA nei pressi del Porto di Marina Dorica in quanto tempo, e a quali condizioni, tale produzione sarebbe possibile.

Specifiche turbina micro eolica DS300			
Potenza nominale	300W	Velocità potenza max.	15 m/s
Potenza massima	500W	Velocità di cut-in	<3 m/s
Velocità di Cut-out	15.5 m/s	Velocità del vento max.	60 m/s
Dimensioni/Peso			
Diametro rotore	1 m		
Altezza rotore	1.26 m		
Altezza palo	4.00 m (minimo)		
Altezza totale	5.06 m (minimo)		
Peso turbina	25.5kg senza palo		
Specifiche rotore			
Pale Darrieus	3 lame		
Pale Savonius	2 livelli		
Materiale pale	Alluminio anodizzato		
Materiale asse	SS400 acciaio trattato		
Specifiche generatore		Curva di Potenza	
Tipo di generatore	trifase AC PMG		
Output nominale	300W		
Sistema di freatura			
Automatico	3-phase short circuit braking system		
Manuale	Opzionale		
Condizoi di lavoro			
Temperatur ambiente	-10~40°C		
Umidità ambiente	95% max.		

Come si può evincere già dai dati tecnici sopra riportati, e come, meglio ancora, possiamo valutare numericamente nella curva di potenza che viene riportata nella Figura 5 in forma ingrandita al fine di poter fare dei calcoli, la turbina scelta ha una velocità minima del vento: velocità al di sotto della quale la sua produzione di corrente elettrica è praticamente zero: tale velocità è pari a 3 metri al secondo, e una velocità ideale alla quale la produzione della pala è massima: pari a 15 m/s, pertanto al di fuori di questo intervallo di velocità del vento non avremo produzione se la velocità sarà inferiore ai 3 m/s al contrario avremo un rischio di rottura e danneggiamento della pala laddove la velocità del vento fosse maggiore, fino alla velocità dei 60 m/s, che preannuncio non è tipica delle nostre zone, al di sopra della quale la turbina si potrebbe presumibilmente danneggiare.



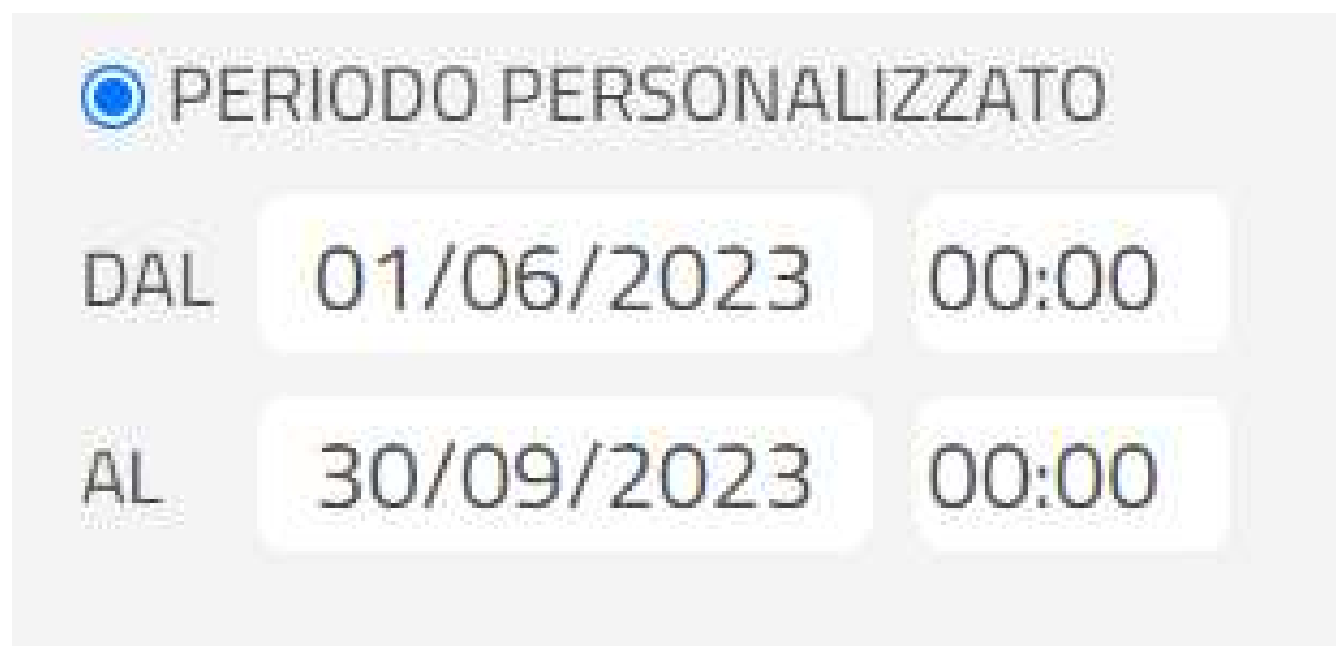
Figura 5 Grafico ingrandito della Curva di potenza della turbina analizzata

Andiamo ora ad analizzare i dati eolici rilevati dalla stazione meteorologica dell' Ispra misurati nei pressi del porto di Marina Dorica. Si partirà ipotizzando il fatto che dal 29 Luglio al 9 Settembre del 2023 le navi sono state ferme in porto per il fermo biologico, pertanto possiamo valutare la produzione di corrente relativa ai semplici dati meteo rilevati in quei giorni.

A questi possiamo aggiungere, relativamente ai periodi diversi da quelli del fermo, quelli in cui la pesca è attiva, i dati relativi agli orari in cui le navi sono in porto: se non ricordo male i pescatori escono il lunedì notte presto e rientrano il giovedì sera tardi, pertanto possiamo immaginare le navi ferme in porto nei giorni di venerdì, sabato, e domenica, oltre agli eventuali giorni festivi, pertanto a questi aggiungeremo i dati relativi ai fine settimana di Giugno, Luglio, Agosto e Settembre 2023. Si terrà conto poi, a livello statistico, dell' ipotesi che negli altri restanti mesi le condizioni del vento siano le medesime, quando in teoria potrebbero essere più favorevoli visto che le condizioni estive si immagina siano le meno ventose. Ai fini esemplificativi, per lo meno in prima istanza, ai fini dello studio di fattibilità, e valutazione di impatto economico ed ecologico, non terremo conto della eventuale produzione che si potrebbe ottenere durante la pesca in mare: questo perché alla velocità del vento occorrerebbe sommare vettorialmente la velocità di crociera della nave, al fine di ottenere i dati corretti, ed è ovvio che ciò è pragmaticamente impossibile salvo non si faccia concretamente una raccolta sperimentale dei dati dopo aver fattivamente montato la turbina, e allo stato

attuale non è fattibile. Certamente però, laddove lo studio di fattibilità a nave ferma dovesse dare risultati positivi, e pertanto portarci alla conclusione che ha senso effettuare l'investimento, a quel punto si potrà fare una valutazione prima teorica, e poi sperimentale, per comprendere anche l'eventuale produzione, e l'eventuale convenienza, del tenere la turbina in attività anche durante la crociera, seppur occorre considerare che la presenza della turbina in crociera, aumentando l'attrito aereodinamico dell'imbarcazione, aumenterebbe anche i consumi di carburante, e a quel punto occorrerebbe fare una valutazione sperimentale più complessa per capire la reale eventuale convenienza, non affatto scontata.

Pertanto andremo ora a prendere tutti i dati relativi al vento dal sito Ispra nel periodo stabilito: riportiamo qui sotto le immagini anche della stazione di rilevazione.

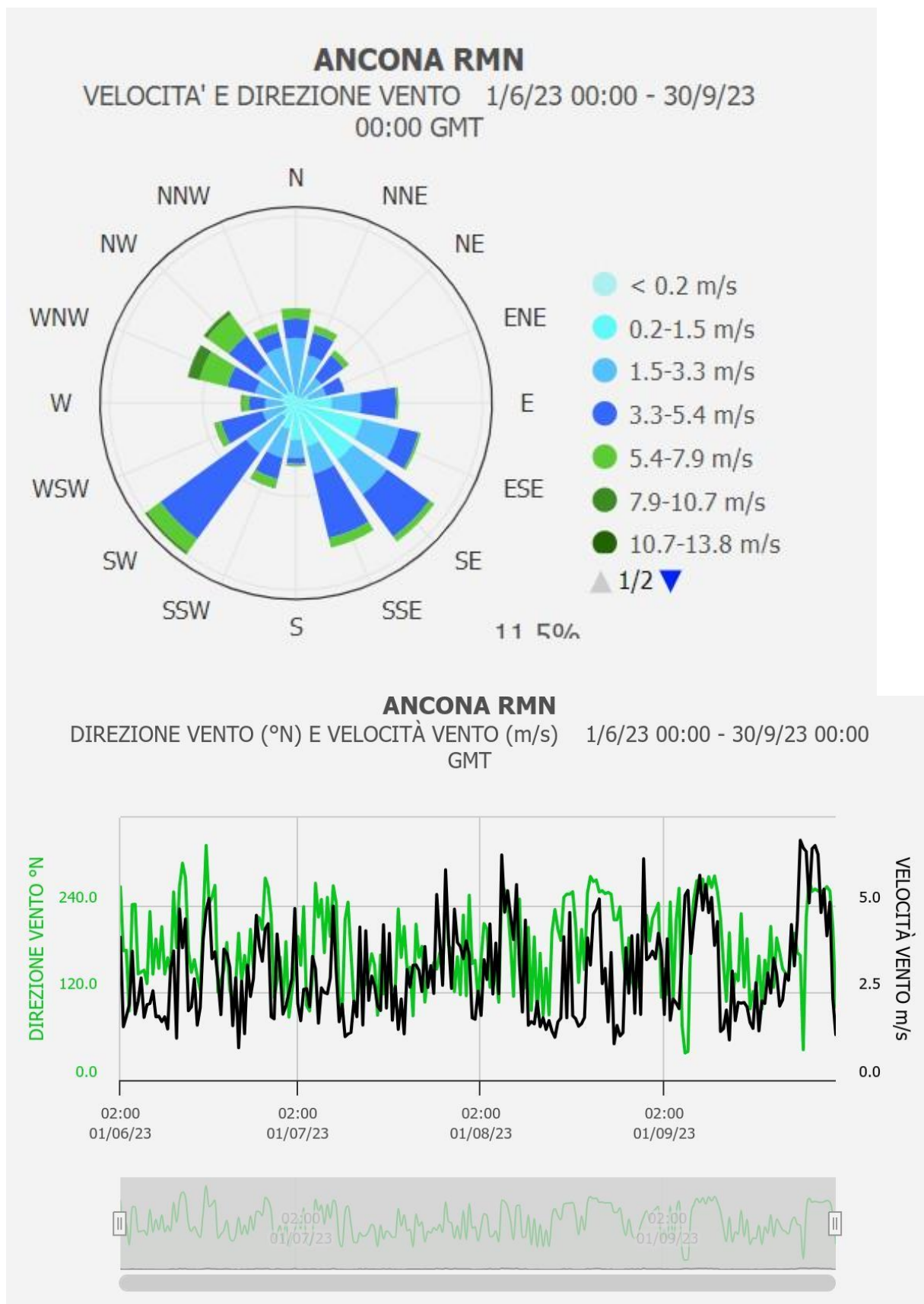


The image shows a user interface for selecting a personalized time period. At the top, there is a radio button icon followed by the text "PERIODO PERSONALIZZATO". Below this, there are two rows of input fields. The first row is labeled "DAL" and contains two fields: "01/06/2023" and "00:00". The second row is labeled "AL" and contains two fields: "30/09/2023" and "00:00". All fields are white with rounded corners and are set against a light gray background.

Label	Date	Time
DAL	01/06/2023	00:00
AL	30/09/2023	00:00

Figura 6 Periodo preso in considerazione per l'analisi

Figura 7 Grafici del periodo analizzato riportanti le velocità in funzione della direzione





Nella Figura 5, qui sopra per chiarezza nuovamente riportata, troviamo la Curva di Potenza relativa alla Pala Eolica Etneo DS300 con la curva caratteristica necessaria al fine di stabilire la produzione di corrente elettrica alternata.

In ordinata ci sono i Watt prodotti in funzione della velocità del vento

In ascissa ci sono i metri al secondo

Questo grafico fornito dal produttore della pala è indispensabile per poter calcolare la produzione stimata inserendo in ascissa i valori rilevati dalla stazione metereologica, e trovando in ordinata la produzione di energia relativa a quella specifica velocità eolica.

Sotto invece la foto della stazione di rilevazione nei pressi del Porto di Marina Dorica dove sono state rilevate le velocità del vento che sono state utilizzate.

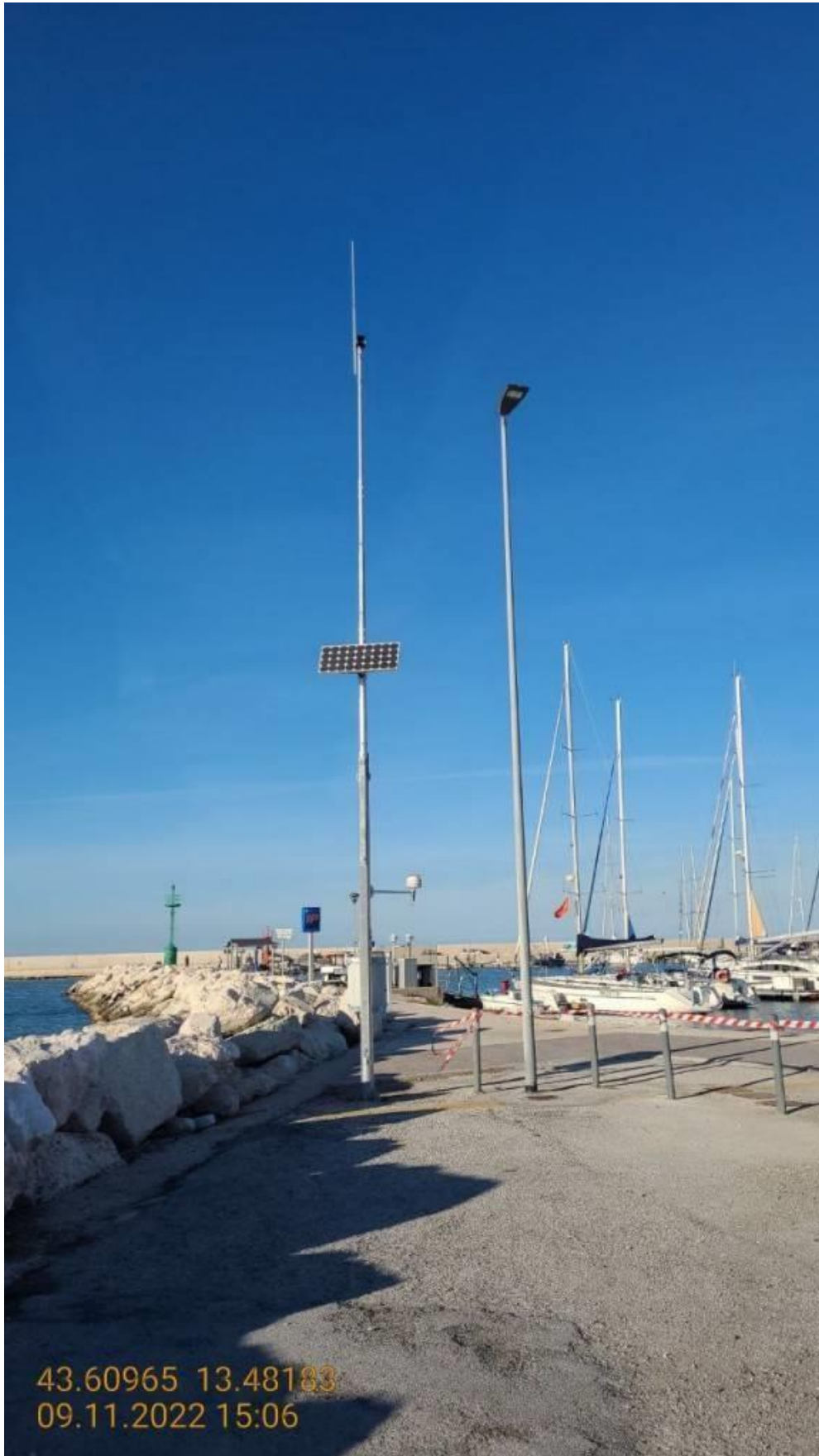


Figura 8 Stazione di rilevazione dati eolici sopra riportati

I dati del vento che riportano un valore variabile ad intervalli di 10 minuti, per un periodo di 4 mesi, costituirà una mole di dati enorme, che non vengono riportati per ridondanza. Il lavoro che è stato fatto è quello di inserire i dati raccolti dal sito dell' ISPRA, filtrandoli nei termini sopra indicati relativamente alle date e agli orari in cui le navi sono state ferme nel porto: quindi nei pressi di dove tali dati meteorologici sono stati raccolti, sono stati poi messi a confronto con la curva di potenza relativa alla turbina eolica scelta e qui sopra nuovamente riportata. Dal confronto attraverso un calcolo puramente grafico ho ritenuto verosimili i seguenti valori di produzione di Wh

È stato preso il grafico di Figura 5 e inserito il valore di velocità del vento in metri al secondo in ascissa, poi si è saliti su parallelamente all' ordinata del grafico fino ad incrociare la curva caratteristica, e sono stati trovati graficamente dei valori di potenza verosimili con la curva di potenza fornita, quindi sono stati definiti i seguenti intervalli per velocità comprese tra

i 3 e i 4 m/s e ho assegnato una produzione di 9 Wh

i 4 e i 5 m/s e ho assegnato una produzione di 21 Wh

i 5 e i 6 m/s e ho assegnato una produzione di 30 Wh

i 6 e i 7 m/s e ho assegnato una produzione di 42 Wh

i 7 e i 8 m/s e ho assegnato una produzione di 60 Wh

i 8 e i 9 m/s e ho assegnato una produzione di 81 Wh

i 9 e i 10 m/s e ho assegnato una produzione di 120 Wh

i 10 e i 11 m/s e ho assegnato una produzione di 150 Wh

i 11 e i 12 m/s e ho assegnato una produzione di 210 Wh

i 12 e i 13 m/s e ho assegnato una produzione di 300 Wh

i 13 e i 14 m/s e ho assegnato una produzione di 360 Wh

i 14 e i 15 m/s e ho assegnato una produzione di 420 Wh

i 15 e i 60 m/s e ho assegnato una produzione di 450 Wh

Poiché sotto i 3 m/s la turbina non produce nulla, e sopra i 60 m/s : velocità da noi mai rilevata, per lo meno nell' intervallo di tempo in questione, avremmo potuto assegnare la massima produzione: pari a 450 Wh dell' ultimo intervallo, ma sappiamo che a tale sollecitazione tale valore sarebbe inaffidabile e l' integrità della pala a forte rischio.

Ovviamente dobbiamo tener presente, onde evitare gravi errori di valutazione, che i valori sopra riportati, evinti graficamente dalla curva di potenza della pala scelta, sono Wh, mentre i nostri dati sul vento sono costituiti da intervalli di 10 minuti cadauno, pertanto al fine di calcolare la produzione di energia elettrica della turbina in quel lasso di tempo in maniera corretta, poiché 10 minuti sono la sesta parte di un' ora, ho diviso i valori sopra riportati per 6 e sono arrivato a definire gli intervalli qui sotto riportati.

$$3 < V < 4 = 1,5$$

$$4 < V < 5 = 3,5$$

$$5 < V < 6 = 5$$

$$6 < V < 7 = 6$$

$$7 < V < 8 = 10$$

$$8 < V < 9 = 13,5$$

$$9 < V < 10 = 20$$

$$10 < V < 11 = 25$$

$$11 < V < 12 = 35$$

$$12 < V < 13 = 50$$

$$13 < V < 14 = 60$$

$$14 < V < 15 = 70$$

$$15 < V < 60 = 75$$

Risultati ottenuti in Wh per i relativi periodi analizzati:

Per i fine settimana di Giugno, sommando tutti i valori ottenuti relativi ai periodi dei fine settimana: venerdì, sabato, e domenica: giorni in cui la nave è ferma in porto, avremmo ottenuto presumibilmente **3813,50 Wh** pari a circa 3,8 KWh con un risparmio pari a :

Euro/KWh 0,24 x 3,81350 KWh = 0,91524 Euro

Possiamo quindi arrivare alla conclusione che nel mese di Giugno 2023 avremmo avuto un risparmio di circa 1 Euro.

Per i fine settimana di Luglio, sommando tutti i valori ottenuti relativi ai periodi dei fine settimana: venerdì, sabato, e domenica: giorni in cui la nave è ferma in porto, avremmo ottenuto presumibilmente **2042 Wh** pari a circa 2,042 KWh con un risparmio pari a:

Euro/KWh 0,24 x 2,042 KWh = 0,49 Euro

Per tutto il periodo relativo al fermo pesca: tempo in cui la nave è stata ininterrottamente in porto, e quindi ha potuto sfruttare al massimo le potenzialità del vento: senza perdere nemmeno un minuto utile, **dal 28 Luglio al 10 Settembre**, la produzione totale è stata pari a **13748 Wh** pari quindi a circa 13,75 KWh con un risparmio di **Euro/KWh 0,24 x 13,748 KWh = 3,30 Euro**

E infine, relativamente ai fine settimana di Settembre abbiamo avuto una produzione pari a **2706,50 Wh** pari a circa 2,7 KWh con un risparmio di **Euro/KWh 0,24 x 2,7065 KWh = 0,65 Euro**

Sommando quindi la totale produzione dell' intero periodo analizzato: **dal 01 Giugno al 30 Settembre 2023**, solo relativamente al tempo in cui la nave sarebbe stata ferma in porto, avremmo avuto una produzione totale stimata pari a **3813,50 + 2042 + 13748 + 2706,50 = 22310 Wh**

Con un risparmio totale pari a **0,92 + 0,49 + 3,30 + 0,65 = 5,36 Euro**

Un relativo risparmio in termini petroliferi pari a circa 5,4 Litri di gasolio equivalenti a 14,6 kg di Anidride Carbonica, oltre a tutti gli altri relativi inquinanti frutto della combustione del gasolio, quali ad esempio Ossidi di Azoto, Ossidi di Zolfo, polveri sottili, e idrocarburi incombusti, e tanti altri inquinanti in misura minore.

Considerando che tale campionamento ha considerato solo un periodo ristretto dell' anno: da Giugno a Settembre, e considerando l' ipotesi che i valori ottenuti possano essere estesi per induzione lineare a tutto il resto dell' anno, laddove si fosse preso in considerazione un intero anno, seguendo le stesse linee, si potrebbe arrivare ad un risparmio presunto pari a **3,8 KWh x 12 mesi = 45 Kwh**

Abbiamo semplicemente preso il valore di produzione dei soli fine settimana di Giugno e lo abbiamo moltiplicato per i 12 mesi ipotizzando che tutti i mesi siano paragonabili (sappiamo che ovviamente non sarà così, ma possiamo ipotizzare che i mesi invernali siano più ventosi di quelli estivi, pertanto possiamo considerare tale stima fondata)

A questi dobbiamo aggiungere il fatto che nel periodo del fermo pesca in realtà la nave sarà ferma per tutto il tempo e prendendo i valori ottenuti sopra pari a circa 13,75 KWh dividendoli per i 7 giorni della settimana, e moltiplicando per i giorni lavorativi pari a 4/7, otterremo il valore di $(13,75 \text{ KWh} : 7 \text{ giorni settimanali}) \times 4 \text{ giorni lavorativi} = 7,86 \text{ KWh}$.

Alla luce di ciò possiamo quindi ipotizzare che la produzione totale annuale di suddetta pala montata in nave possa essere stimata pari a circa **53 KWh**.

Nel caso in cui invece fosse montata su boa marina in porto, e pertanto sempre attiva, andando con la stessa ratio a fare la somma lineare del periodo di fermo pesca su tutto il periodo annuale, e seguendo le stesse teorie sopra descritte, poiché il periodo di fermo pesca analizzato è pari a 45 giorni: dal 28 Luglio al 10 Settembre compresi, mentre l' anno è pari a circa 365 giorni, basterà prendere il valore ottenuto e parametrarlo:

$(13,75 \text{ KWh ottenuti} : 45 \text{ giorni di rilevazione}) \times 365 \text{ giorni annuali} =$
circa **112 KWh totali**

Al fine di convalidare il dato possiamo usare, come abbiamo fatto sopra, il dato di Giugno relativo ai soli fine settimana e parametrizzarlo a tutti i giorni dell' anno:

(3,8 KWh prodotti nei fine settimana di un mese : 3 giorni settimanali di rilevazione)
x 7 giorni settimanali = circa a 9 KWh stimati solo nel mese di Giugno 2023.
Andando a moltiplicare tale valore per i 12 mesi, seguendo la teoria sopra descritta
più volte, un valore stimato totale annuale pari a 9 KWh di Giugno x 12 mesi anno =
108 KWh totali.

Come si può facilmente notare cambiando la teoria usata per il calcolo cambierà
anche il valore ottenuto pari a 108 KWh stimati contro i 112 KWh stimati, e
cambierebbe ulteriormente se usassimo altri algoritmi che tengano come riferimento
altri mesi, ma trattandosi appunto di stime possiamo tranquillamente reputare
trascurabili tali differenze e arrivare alla conclusione che ci si possa aspettare una
produzione di energia elettrica stimata dell' ordine di **10E2 KWh per anno.**

Al fine quindi di una stima possiamo dire che avremmo circa un risparmio
dell' ordine di **30 Euro l' anno in termini economici o di 80 kg di anidride
carbonica in termini ecologici:** un litro di gasolio pesa circa 830 grammi e libera
in atmosfera, se combusto, circa 2,7 kg di CO₂.

Ai fini di un piano di ammortamento, avendo stimato il punto di pareggio al
raggiungimento dei 20E3 KWh avremmo bisogno di

20000 KWh totali : 120 KWh annuali = circa 160 anni

per ammortizzare le spese di impianto, ovviamente ignorando i costi di manutenzione e ipotizzando che tale pala continui a funzionare sempre con le stesse prestazioni da nuova.

Conclusioni Finali

Come abbiamo voluto dimostrare con i numeri alla mano, seppur le stime ci hanno permesso solo di valutare gli ordini di grandezza, essendo i valori non valutabili in maniera estremamente esatta, ci possiamo rendere conto del fatto, purtroppo, che la tecnologia eolica per la produzione di energia elettrica montata su nave, o anche su boa marina nei pressi dei porti del medio Adriatico, purtroppo, non ci porta a conclusioni economicamente convenienti o ammortizzabili come avremmo sperato, mentre in termini ecologici, date le grandezze in gioco: pari a circa 2 o 3 ordini di grandezza superiori (la produzione di energia elettrica di un mese della pala eolica non è sufficiente a coprire il fabbisogno di un' ora di attività in mare), possiamo dire che il contributo di tale tecnologia sia di fatti asintoticamente nullo, e il suo contributo eventuale, purtroppo, totalmente influente.

Tale risultato seppur negativo non ci deve in alcun modo scoraggiare, ma ci deve portare a prendere atto del fatto che allo stato attuale dell' arte, purtroppo, tale tecnologia che ci auguriamo possa trovare sviluppi futuri, soprattutto in quei

luoghi in cui il meteo è favorevole, possa essere ripresa in considerazione successivamente, ma non allo stato attuale, non nel medio Adriatico.

Non ci dilunghiamo troppo a trattare altre forme alternative di utilizzo del vento quali ad esempio le vele, o gli aquiloni, per mancanza di tempo e di spazio all'interno di questa ricerca: magari ne parleremo forse in una ricerca successiva, ma posso dire che mentre nel millennio scorso, quando con le barche a vela era possibile attraversare

l'oceano, oggi, a causa delle nuove esigenze sempre maggiormente energivore, e alle navi sempre più tecnologicamente complesse, l'energia eolica non è più sufficiente a permettere la mobilità in mare, non di certo quella di un peschereccio che a causa dello strascico deve fare i conti con un attrito aereodinamico di gran lunga superiore a quello di una barca a vela e remi come quelle usate nel millennio scorso. Tra l'altro a ciò aggiungiamo il fatto che gli aquiloni come quelli della SkySails dell'Ing Stefan Wrage, che potrebbero obiettivamente portare ad un risparmio concreto di carburante anche su navi di grossa taglia, e quindi costituiscono una tecnologia da seguire con grande attenzione, allo stato attuale hanno dei prezzi improponibili, e pertanto, seppur l'aspetto tecnologico risulta molto interessante, e anche il beneficio ambientale non sarebbe affatto trascurabile, purtroppo l'investimento attuale non è recepibile, ma di certo rimaniamo in attesa di osservazione per vedere l'evoluzione di questa tecnologia, visto che i brevetti hanno già più di venti anni, e questo potrebbe portare a delle possibili evoluzioni.

Non c'è vero progresso fino a quando la tecnologia non è alla portata di tutti.

La più grande dote dell' uomo è la pazienza

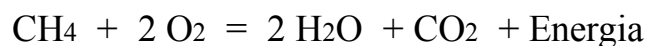
Mi permetto di fare un sillogismo tra queste due citazioni, e sulla base di questo mi pongo quale attento osservatore per gli sviluppi futuri, nella speranza di poter affrontare tali tecnologie in una prossima ricerca.

Una tecnologia altrettanto interessante che continuerò a seguire, nella speranza di poterla trattare minuziosamente in una prossima ricerca, è indubbiamente l' ipotesi di utilizzo di una cella a combustibile alcalina.

Tale dispositivo è capace di produrre corrente continua attraverso il processo di ossidazione di un idrocarburo a temperatura ambiente, questo permette di non produrre Ossidi di Azoto NO_x dannosi per la salute e per

l' ambiente, e ridurre al minimo gli “ incombusti “.

Solo a titolo di esempio riporto la reazione chimica relativa al caso in cui si andasse ad ossidare il gas naturale al fine di ottenere energia elettrica:



Come si può facilmente evincere il risultato dell' ossidazione del metano, nella formula chimica sopra stechiometricamente bilanciata, se fatta all' interno di una

cella a combustibile piuttosto che in un motore a combustione interna, porterebbe alla produzione di energia elettrica, acqua, e anidride carbonica.

Sarebbe interessante poi, in una prossima ricerca dove potrei trattare con minuzia le celle a combustibile, tenendo conto dei principi relativi alla fotosintesi clorofilliana, andare a valutare in che modo e in quale quantità la coltivazione di piante, ma anche di alghe o fitoplancton in ambiente marino autoctono, possano andare ad ammortizzare la produzione di anidride carbonica al fine di ipotizzare un bilancio equilibrato chiudendo il ciclo:



Se andiamo a prendere in considerazione le 2 formule chimiche sopra citate possiamo dire che attraverso una cella a combustibile alcalina potremmo ossidare gas naturale senza ottenere ciò che normalmente si ottiene nella combustione e traendo soltanto energia elettrica a corrente continua come prodotto primario, e acqua e anidride carbonica come prodotti secondari, ma riprendendo i prodotti di “scarto” sopracitati, e usandoli per alimentare la flora marina o terrestre coltivata in maniera autoctona, potremmo ottenere carboidrati o fibre e ossigeno: entrambi componenti indispensabili alla vita animale e umana del nostro pianeta.

Possiamo anche analizzare, sempre in una successiva ricerca, la possibilità di sfruttare il moto ondoso marino al

fine di ottenere la produzione di energia elettrica, e tante altre forme di produzione di corrente elettrica alternativa che possano impattare il meno possibile sull' ambiente.

Con l' auspicio che questa ricerca non costituisca una fine, ma solo un inizio, dopo esser partito dalla termodinamica, attraversato la tecnologia meccanica, analizzato la fisica, combattuto con l' economia e sfociato inesorabilmente nella chimica e nella biologia: come era preannunciato ed inevitabile, non posso non ringraziare tutti coloro che hanno permesso la redazione di questo elaborato e l' arrivo a questa conclusione.

Ringraziamenti

Ringrazio l' Ing Emilio Notti per aver proposto lo svolgimento di tale elaborato all' interno dell' Istituto di Ricerca e Biotecnologia Marina del Consiglio Nazionale delle Ricerche presso la sede di Ancona, e per aver fornito gran parte dei materiali usati ai fini della redazione di questa ricerca e per aver contribuito attivamente nella elaborazione

Ringrazio il Dottor Antonello Sala che oltre ad aver fornito parte dei materiali, così come l' Ing Notti, ha contribuito attivamente alla stesura con opportune spiegazioni

Ringrazio il Professor Andrea Miccoli in quanto attivamente mi ha dato dei consigli indispensabili finalizzati soprattutto all' utilizzo dei pacchetti applicativi necessari ai fini della elaborazione dei dati eolici

Ringrazio il Dottor Pierluigi Penna per avermi fornito i dati relativi al vento rilevati sulla stazione metereologica dello ISPRA situata nei pressi del Porto di Marina Dorica

Ringrazio il Dottor Gianmarco Luna per aver consentito che tale ricerca fosse svolta all' interno dell' Istituto che a Lui fa capo

Ringrazio il Professor Filippo Gabrielli per avermi aiutato lungo tutto il percorso che mi ha portato fino a qui

Ringrazio il Professor Archimede Forcellese per aver accettato di fare da referente della Facoltà di Ingegneria per la convalida di questa ricerca.

Ringrazio tutti i colleghi dell' IRBIM di Ancona che hanno contribuito direttamente o indirettamente o che sono stati solidali

Ringrazio i miei familiari e tutti coloro senza il sostegno dei quali certi obiettivi non sarebbero stati possibili

Infine Ringrazio tutti coloro che si saranno trovati a leggere, a diverso titolo, e per diversi motivi, questo

elaborato che è stato messo a disposizione presso la Facoltà di Ingegneria Meccanica di Ancona

Bibliografia

Progetto Life Efficient Ship 2018

Report on the technical and environmental impact of the demonstration authors
Emilio Notti, Fabrizio Moro, Jacopo Pulcinella, Antonello Sala (CNR)
Pierre Leduc, Pascal Smague (IFPEN)

Cheilari, A., Guillen, J., Damalas, D. & Barbas, T. Effetti della crisi dei prezzi del carburante sull'efficienza energetica e sulle prestazioni economiche delle flotte pescherecce dell'Unione Europea. Mar. Policy 40, 18-24 (2013).

Annuario FAO. Fishery and Aquaculture Statistics 2012 (FAO,2014);

ftp://ftp.fao.org/FI/CDrom/CD_yearbook_2012/index.htm

FAO. Lo stato della pesca e dell'acquacoltura mondiale 2012 (FAO, 2013).

Guillen, J., Cheilari, A., Damalas, D. & Barbas, T. Oil for fish: an energy return on investment analysis of selected European Union fishing fleets. J. Ind. Ecol. 20, 145-153 (2016).

Parker, R.W., Blanchard, J.L., Gardner, C., Green, B.S.,

Hartmann, K., Tyedmers, P.H. e Watson, R.A., 2018. Uso di carburante ed emissioni di gas serra della pesca mondiale. *Nature Climate Change*, 8(4), p.333.

Parker, R. & Tyedmers, P. Il consumo di carburante delle flotte pescherecce mondiali: conoscenze attuali e lacune. *Fish Fish*. 16, 684-696 (2015).

Pascoe, S., Coglan, L., Punt, A. E. & Dichmont, C. M. Impacts of vessel capacity reduction programmes on efficiency in fisheries: the case of Australia's multispecies northern prawnfishery.

J. Agric. Econ. 63, 425-443 (2012).

Lucchetti, A., Sala, A., 2012. Impatto e prestazioni degli attrezzi da pesca del Mediterraneo con la tecnologia side- scan sonar. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 69: 1806-1816

IRBIM Day 2023 Mazara Del Vallo

Fuel use and GHG emissions in fisheries Antonello Sala

Corso di Fondamenti di Energetica a cura del Professor Pierpaoli

Siti internet

etneo.com

[stazioni \(mareografico.it\)](http://stazioni.mareografico.it)

