

Università degli Studi di Padova

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

TITOLO

**Riduzione della carbon footprint in ambito portuale a seguito di interventi di
efficientamento energetico**

Relatore:

Stoppato Anna

Laureando:

Denti Antonio

Matr. 1236501

Anno accademico 2022/2023

1 *INDICE*

1	Introduzione.....	4
2	Posizione dell'unione Europea	6
2.1	ESPO	9
2.1.1	Progetto EcoPorts	10
2.2	Casi operativi.....	11
3	Posizione italiana.....	14
3.1	Green Ports	15
3.2	Il cold ironing: un progetto per la decarbonizzazione dei porti.....	17
3.3	Linee guida	27
3.3.1	Carbon Footprint.....	28
3.3.2	Interventi e obiettivi.....	29
3.3.3	Analisi costi-efficacia	31
3.3.4	Progetti di riduzione della CO2 mediante elettrificazione (stazioni di allaccio alla rete delle navi in banchina, gru mobili, pompe di calore, veicoli elettrici, ecc).....	33
4	Alternative ai combustibili fossili nella propulsione navale ed effetti inquinanti	34
4.1	Generalità sugli inquinanti.....	36
5	Il porto di Porto Torres: caso studio	39
5.1.1	Software utilizzato.....	46
5.1.2	Planimetria e dislocazione banchine.....	48
5.1.3	Valutazione fabbisogni energetici ed emissioni per i motori ausiliari.....	50
5.1.4	Emissioni rete elettrica nazionale	56
5.1.5	Stima costi impianto	57
5.1.6	Costo energia.....	59
5.1.7	Costo marginale emissioni.....	61
5.2	63
5.3	Calcolo impatto ambientale e costi marginali	64
5.4	Analisi costi benefici e costi efficacia	68
6	Conclusioni.....	71
7	Bibliografia.....	72

1 Introduzione

Secondo i dati pubblicati dall'Agazia Europea per l'Ambiente, nel 2019 il settore del trasporto marittimo ha generato il 13,5 % delle emissioni totali di gas a effetto serra, assai meno di quelle prodotte dal trasporto su strada (71 %) e leggermente al di sotto di quelle generate dall'aviazione (14,4 %). Più di un terzo di queste emissioni è stato prodotto da navi portacontainer.

Se si considerano le emissioni provenienti dall'intero settore dei trasporti, l'industria del trasporto marittimo è quella che ha le emissioni più elevate di particolato e ossidi di zolfo, oltre che una delle principali fonti di ossidi di azoto in Europa.

Considerando che il 90% dei porti europei si trova in aree urbane vediamo come la gestione integrata della qualità dell'aria, dell'acqua, dei rifiuti, dei rumori e del consumo di energia deve essere in cima all'agenda delle autorità portuali e delle amministrazioni.

Una delle soluzioni più efficaci e dirette per il controllo delle emissioni inquinanti in porto è il Cold Ironing, ovvero l'alimentazione dei fabbisogni energetici delle imbarcazioni utilizzando un collegamento via cavo, facile a dirsi se non fosse per le infrastrutture altamente tecnologiche e costose date le enormi potenze in gioco e le innumerevoli differenti tensioni e frequenze utilizzate come vedremo di seguito.

Ad aumentare la difficoltà, i porti soffrono inoltre anche di un problema tipico: la mancanza di spazio: soprattutto nei porti storici nati a ridosso delle città la creazione di infrastrutture di rete complesse è particolarmente difficile poiché le esigenze di spazio sono andate ad aumentare negli anni;

Trovare percorsi cavi o spazi per realizzare i punti di collegamento delle navi o le cabine di conversione senza che si abbiano interferenze con impianti tecnologici esistenti richiede spesso interventi strutturali complessi, oltre agli interventi in ambito strettamente portuale, bisogna spesso effettuare anche degli interventi di sistema; il cold ironing richiede, infatti, grandi quantità di elettricità con rampe di carico piuttosto ripide, è necessario quindi verificare caso per caso se siano necessari interventi di potenziamento della rete elettrica che devono essere coordinati con il distributore. Non meno critico è il fatto che ad oggi sono poche le navi che hanno la predisposizione per l'alimentazione da terra; mentre le navi di nuova costruzione nascono già equipaggiate di allacci ed eventuali convertitori, per le navi esistenti le operazioni di retrofit sono solitamente onerose e non vengono prese in considerazione in modo spontaneo dagli armatori a meno che non ci siano degli incentivi, certo è che una diffusa presenza di banchine elettrificate, insieme a degli interventi normativi non possono che incoraggiare questa transizione.

In questa tesi, vedremo dapprima la situazione a livello Europeo e Italiano per quanto riguarda normative e realizzazione di progetti, dopo di che si analizzeranno gli effetti sia a livello di inquinanti nei porti e dintorni che a livello di impatto sul riscaldamento globale, con cenni alle soluzioni tecniche per poi finire con la valutazione delle esternalità e l'analisi Costi Benefici del porto di Porto Torres subordinato alla autorità di sistema portuale del Mar di Sardegna.

2 *Posizione dell'unione Europea*

L'Europa mira a rispondere alle crescenti necessità di mobilità dei cittadini e delle merci, tenendo conto delle mutevoli esigenze dovute a nuove sfide demografiche e sociali. Allo stesso tempo, cerca di garantire risultati economici positivi e di soddisfare i requisiti di una società efficiente dal punto di vista energetico, con basse emissioni di carbonio e un'economia resiliente ai cambiamenti climatici. Nonostante la sua crescita, il settore dei trasporti deve conseguire una sostanziale riduzione dei gas a effetto serra e di altri impatti ambientali negativi e porre fine alla sua dipendenza dal petrolio e da altri combustibili fossili.

Le emissioni inquinanti delle navi sono state regolamentate dalla MARPOL Convention 73/78 (Marine Pollution 1973/78) alla quale aderiscono oggi praticamente tutti i paesi del mondo.

La convenzione si compone di sei allegati che trattano le diverse sorgenti di inquinamento di una nave (scarichi, combustibile, prodotti pericolosi, ecc.). In particolare, l'allegato VI si occupa delle emissioni in atmosfera, regola le caratteristiche dei combustibili impiegati ed il rendimento energetico delle navi, ma non fa riferimenti al cold ironing. [1]

Le Zone di Controllo delle Emissioni SO_x, PM e NO_x includono:

- Mar Baltico (SO_x: adottato nel 1997 / entrato in vigore nel 2005; NO_x: 2016/2021).
- Mare del Nord (SO_x: 2005/2006; NO_x: 2016/2021).
- Zona di Controllo delle Emissioni Nordamericana, compresa la maggior parte della costa degli Stati Uniti e del Canada (NO_x e SO_x: 2010/2012).
- Zona di Controllo delle Emissioni dei Caraibi degli Stati Uniti, compresi Porto Rico e le Isole Vergini americane (NO_x e SO_x: 2011/2014).
- Mar Mediterraneo (SO_x: 2022/2025).

Gli Emendamenti del 2011 all'Allegato VI della Convenzione MARPOL hanno introdotto inoltre misure obbligatorie per ridurre le emissioni di gas a effetto serra (GHG).

Date	Sulfur Limit in Fuel (% m/m)	
	SOx ECA	Global
2000	1.5%	4.5%
2010.07	1.0%	
2012	0.1%	3.5%
2015		
2020		0.5%

Figura 2-1: MARPOL tabella allegato VI limiti zolfo nei combustibili [1]

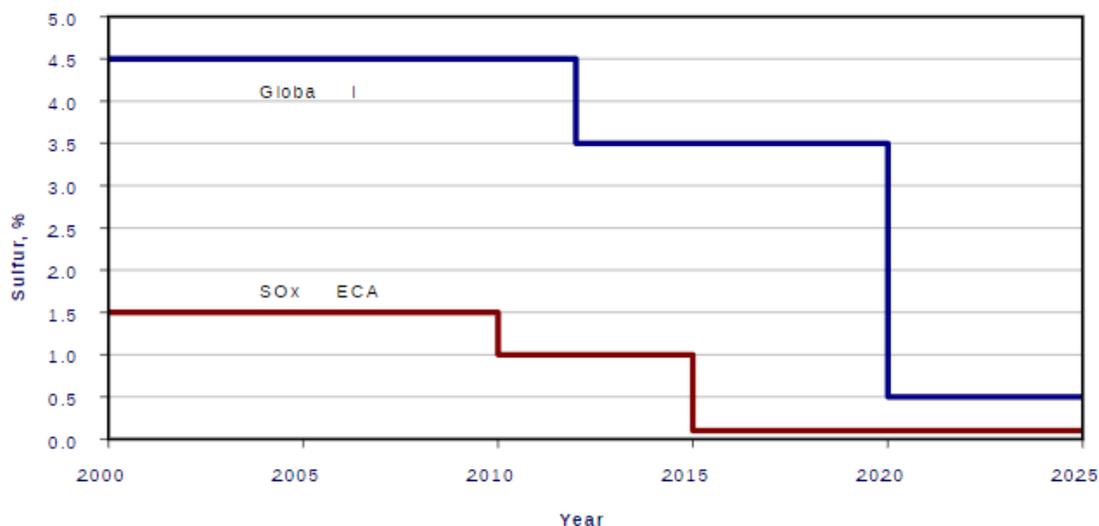


Figura 2-2; MARPOL grafico allegato VI limiti zolfo nei combustibili [1]

Il combustibile pesante (HFO) è consentito a condizione che rispetti il limite di zolfo applicabile (ossia, non c'è un obbligo di utilizzare carburanti distillati).

Sono ammesse anche misure alternative (nelle Aree di Controllo delle Emissioni di SOx e a livello globale) per ridurre le emissioni di zolfo, ad esempio attraverso l'uso di sistemi di pulizia dei gas di scarico (EGCS), noti come scrubber. Ad esempio, invece di utilizzare il combustibile con un tenore di zolfo dello 0,5% (dal 2020), le navi possono installare un sistema di pulizia dei gas di scarico o utilizzare qualsiasi altro metodo tecnologico per limitare le emissioni di SOx a ≤ 6 g/kWh (in termini di SO2).

Sempre nell'allegato VI vengono introdotti due meccanismi volti a garantire uno standard di efficienza energetica per le navi: (1) l'Indice di Efficienza Energetica di Progetto (EEDI), per le nuove navi, e (2) il Piano di Gestione dell'Efficienza Energetica delle Navi (SEEMP) per tutte le navi.

L'EEDI è un meccanismo basato sulle prestazioni che richiede un certo livello minimo di efficienza energetica nelle nuove navi. Progettisti e costruttori navali sono liberi di scegliere le tecnologie per soddisfare i requisiti dell'EEDI in un progetto specifico di nave.

Il SEEMP stabilisce un meccanismo per gli operatori al fine di migliorare l'efficienza energetica delle navi.

Le regolamentazioni si applicano a tutte le navi di 400 tonnellate di stazza lorda e superiori e sono entrate in vigore a partire dal 1° gennaio 2013. Esistono flessibilità durante il periodo iniziale fino a sei anni e mezzo dopo l'entrata in vigore, durante il quale l'IMO può esentare il requisito di conformità all'EEDI per alcune nuove navi, ad esempio quelle già in costruzione.

Nell'aprile 2018, l'IMO ha adottato una Strategia Iniziale sulla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra (GHG) dalle navi, con l'obiettivo di ridurre le emissioni totali di GHG annue di almeno il 50% entro il 2050 rispetto al 2008. La strategia prevede il rafforzamento dei requisiti dell'EEDI e una serie di altre misure per ridurre le emissioni, come misure di efficienza operativa, ulteriori riduzioni della velocità, misure per affrontare le emissioni di CH₄ e VOC, carburanti a basse emissioni di carbonio e zero carbonio alternativi, nonché misure basate sul mercato (MBM).

Il rispetto delle disposizioni dell'Allegato VI è determinato attraverso ispezioni e verifiche periodiche. Superate le verifiche, alla nave viene rilasciato un "Certificato Internazionale per la Prevenzione dell'Inquinamento Atmosferico", valido fino a 5 anni. Ai sensi del "Codice Tecnico per l'Azoto" (NO_x Technical Code), l'operatore della nave (non il costruttore del motore) è responsabile del rispetto in uso.

L'Unione Europea, con la raccomandazione n. 2006/339/CE del maggio 2006, promuove lo sviluppo del cold ironing per il miglioramento della qualità dell'aria e la riduzione dell'impatto acustico. Il concetto è ribadito dalla Direttiva 2012/33 del 21 novembre 2012 che pone limiti al contenuto di zolfo dei combustibili usati dalle navi ma identifica anche l'alimentazione da terra delle navi come soluzione alternativa per ridurre le emissioni (art. 3bis).

Un chiaro impegno del Green Deal europeo è che "i trasporti dovrebbero diventare drasticamente meno inquinanti", evidenziando in particolare l'urgente necessità di ridurre le emissioni di gas a effetto serra (GHG) nel trasporto aereo e per via navigabile.

Il trasporto per vie d'acqua rappresenta circa il 90% del commercio mondiale e il 13% delle emissioni di gas serra dei trasporti dell'UE, registrando una crescita continua. In questo contesto, gli aeroporti, i porti marittimi e i porti interni svolgono un ruolo importante, sia come punti di interconnessione nelle rispettive reti di trasporto, ma anche come grandi nodi multimodali, hub logistici e siti commerciali, collegamento con altre modalità di trasporto, collegamenti con l'entroterra e collegamenti integrati con le città. Pertanto, gli aeroporti e i porti verdi, in quanto hub multimodali nell'era post COVID-19 per una mobilità sostenibile e intelligente, hanno un grande potenziale per contribuire immediatamente a guidare la transizione verso l'aviazione, il trasporto marittimo e una mobilità multimodale più ampia. In modo specifico per i porti, l'UE si pone di affrontare concetti e soluzioni innovative, al fine di ridurre urgentemente le emissioni di gas serra dei trasporti e aumentare il loro ruolo nella mitigazione del cambiamento climatico. [1]

2.1 ESPO

Fondata nel 1993 e con sede a Bruxelles, l'European Sea Ports Organisation (ESPO) garantisce che i porti marittimi abbiano una voce chiara nell'Unione europea. ESPO rappresenta gli interessi comuni e promuove le opinioni e i valori dei suoi membri presso le istituzioni europee e i suoi responsabili politici, in questo modo aiuta i suoi membri ad acquisire una migliore comprensione delle iniziative politiche importanti per il settore e viceversa aiuta i responsabili politici europei a comprendere meglio il ruolo e l'importanza delle autorità portuali, sulla base sia della sua vasta conoscenza del settore che di informazioni e dati affidabili, includendo un dialogo continuo con tutti gli stakeholder europei del settore portuale e marittimo. Infine, nel corso degli anni, ESPO si è trasformato in una rete di conoscenza unica delle autorità portuali europee. [2]

Obbiettivi chiave

- Garantire che l'importanza economica dei porti europei sia riconosciuta nell'Unione europea e nei suoi Stati membri e che il settore sia ascoltato su qualsiasi misura che possa incidere su di esso;
- Promuovere la concorrenza libera e leale nel settore portuale;
- Garantire che i porti europei svolgano appieno il proprio ruolo nel fornire efficienza economica;
- Promuovere i più alti standard di sicurezza possibili nei porti europei;
- Incoraggiare i porti a essere proattivi nella protezione dell'ambiente.

I membri di ESPO sono le autorità portuali, le amministrazioni portuali e le associazioni portuali dei porti marittimi dell'Unione Europea e della Norvegia, nel dettaglio le seguenti associazioni portuali

e amministrazioni portuali nazionali sono membri di ESPO: Bulgarian Ports Infrastructure Company, Croatia Port Authorities Association, Cyprus Ports Authority, Danish Ports, Finnish Port Association, Union des Ports de France (UPF), Hellenic Ports Association (ELIME), Irish Ports Association, Associazione Porti Italiani (Assoporti), Transport Malta, Norwegian Ports, Association Ports of Portugal (APP), Administrația Porturilor Maritime SA Constanța, Puertos del Estado, Ports of Sweden. Le seguenti associazioni portuali e amministrazioni portuali sono osservatori presso l'ESPO: Associated Icelandic Ports, Israel Ports Company (AIP), British Ports Association / UK Major Ports Group, Ports of Montenegro e State Enterprise "Ukrainian Sea Ports Authority". L'organizzazione è inoltre aperta ai membri osservatori dei paesi vicini all'UE (Albania, Islanda, Israele, Montenegro, Ucraina e Regno Unito). [3]

2.1.1 Progetto EcoPorts

EcoPorts è la principale iniziativa ambientale del settore portuale europeo ed è stato avviato da una serie di porti proattivi nel 1997 ed è stato completamente integrato nell'Organizzazione europea dei porti marittimi (ESPO) dal 2011.

Lo scopo di EcoPorts è quello di aumentare la consapevolezza sulle sfide ambientali, garantire la conformità con la legislazione e dimostrare un elevato standard di gestione ambientale. Anche se i membri di EcoPorts devono essere visti come la forza trainante della rete, è chiaro che il valore aggiunto di EcoPorts va ben oltre la rete. EcoPorts aiuta i porti europei a essere in prima linea, a prendere iniziative per proteggere l'ambiente, migliorare la salute pubblica e affrontare le sfide del cambiamento climatico.

EcoPorts fornisce due strumenti consolidati ai suoi membri: Self Diagnosis Method (SDM) ovvero una checklist che permette di identificare e riflettere sui rischi ambientali del porto in esame e in seguito poter condividere esperienze e best practices con gli altri membri, visionare il punteggio e ottenere consulenza sugli aspetti su cui intervenire con maggiore priorità, infine ottenere il Port Environmental Review System (PERS), che incorpora i requisiti dello standard di gestione ambientale ISO 14001 e tiene anche conto delle specificità dei porti. [4]

2.2 Casi operativi

Ci sono diversi esempi in cui il "cold ironing" si è dimostrato una soluzione efficace per ridurre le emissioni di carbonio legate all'energia utilizzata dalle navi durante lo stazionamento. Alcuni esempi includono Gothenburg in Svezia, Rotterdam nei Paesi Bassi, Los Angeles negli Stati Uniti, Vancouver in Canada, Lübeck in Germania, Bergen in Norvegia, Marsiglia in Francia e alcune altre esperienze. È interessante esaminare alcune di queste situazioni per comprendere le caratteristiche che hanno contribuito al loro successo. [5]

Gothenburg

Il Porto di Gothenburg è stato uno dei pionieri nell'adozione del sistema di "cold ironing" nel 1989, diventando uno dei primi porti al mondo a implementare questa tecnologia. Attualmente, il porto è dotato di sei unità di "cold ironing," con un'altra in fase di realizzazione. Questo successo è stato guidato da tre fattori principali:

Scelta accurata delle Navi: Inizialmente, il porto si è concentrato sulle navi Ro-Ro (roll-on/roll-off) e successivamente ha espanso l'uso del "cold ironing" alle navi portacontainer.

Collaborazione efficace: Il Porto di Gothenburg ha collaborato strettamente con importanti attori, tra cui la multinazionale scandinava della carta Stora Enso e le compagnie di navigazione Wagenborg e Cobelfret. Stora Enso ha sostenuto attivamente il sistema per alimentare le navi portacontainer, contribuendo a migliorare l'efficienza ambientale della sua catena logistica.

Incentivi per le Navi efficienti: Il porto ha introdotto incentivi per le navi con elevate prestazioni ambientali. Gli oneri portuali sono stati ridotti del 20% per le navi che soddisfano determinati standard ambientali, "come l'Environmental Ship Index (ESI) superiore a 30 o l'indice Clean Shipping Index (CSI) superiore a 4." [5] Inoltre, l'energia elettrica fornita alle navi beneficia di tariffe fiscali agevolate.

Questi fattori hanno contribuito in modo significativo al successo del "cold ironing" nel Porto di Gothenburg, dimostrando come la collaborazione tra le parti interessate e gli incentivi possano svolgere un ruolo chiave nella promozione dell'efficienza energetica e nella riduzione delle emissioni nei porti.

Los Angeles

Il Porto di Los Angeles, che è il principale porto merci dell'emisfero occidentale, ha giocato un ruolo protagonista nel campo del "cold ironing." Le prime infrastrutture di "cold ironing" sono state installate nel 2004, e da allora ci sono state espansioni progressive. Questo sviluppo è stato sostenuto dalla California Environmental Protection Agency, che nel 2007 ha introdotto normative per mitigare le emissioni di particolato e ossidi di azoto nel porto.

A partire dal 2010, i limiti massimi alle emissioni da navi portacontainer, navi passeggeri e navi frigorifere sono stati gradualmente ridotti, raggiungendo oggi circa il 20% dei valori iniziali. Le navi hanno tre opzioni per ridurre le emissioni:

Connettersi alle Infrastrutture di "Cold Ironing": Le navi possono collegarsi alle infrastrutture di "cold ironing" per alimentarsi con energia elettrica a terra, riducendo così le emissioni durante l'ormeggio.

Utilizzare Combustibili a Basse Emissioni: Le navi possono utilizzare combustibili che emettono meno inquinanti, contribuendo a ridurre le emissioni durante l'operazione in porto.

Adottare Sistemi di Cattura degli Inquinanti: Le navi possono adottare sistemi di cattura degli inquinanti per ridurre le emissioni di particolato e ossidi di azoto.

Questi sforzi hanno permesso di ridurre in modo significativo le emissioni portuali nel Porto di Los Angeles, contribuendo a migliorare la qualità dell'aria e a mitigare gli impatti ambientali.

Marsiglia

Il Porto di Marsiglia è il principale porto in Francia, noto per i suoi significativi collegamenti con la Corsica e il Nord Africa, servendo sia navi passeggeri che navi da carico. Nel 2017, sono state realizzate tre strutture di collegamento per il "cold ironing" per le navi traghetto. Inoltre, grazie a un piano di investimenti aggiuntivo di 22 milioni di euro, il porto si propone di diventare completamente elettrico entro il 2025. In particolare, l'obiettivo è utilizzare il "cold ironing" per tutte le navi traghetto e le navi in riparazione entro il 2023.

Alcune delle ragioni di questo successo includono:

Collaborazione con le Compagnie Navali: Lo sviluppo delle infrastrutture di "cold ironing" è stato promosso attraverso una stretta collaborazione con le compagnie navali che

le utilizzano in esclusiva. Questa cooperazione è stata fondamentale per garantire l'adozione e l'efficacia di questa tecnologia nel Porto di Marsiglia

Finanziamento pubblico Utilizzo dei fondi pubblici dell'UE, congiuntamente a quelli del governo francese

Un segmento per volta: Il focus sul segmento dei traghetti e l'alimentazione esclusivamente a una frequenza di 50 Hz sono state scelte mirate per ottimizzare i costi dell'infrastruttura. Questo approccio ha contribuito a rendere il "cold ironing" più efficiente ed economico per il Porto di Marsiglia, consentendo una transizione più agevole verso un'operazione portuale più sostenibile.

3 *Posizione italiana*

Il Mar Mediterraneo è centrale nello scenario marittimo internazionale, rappresentando la principale connessione tra Occidente e Oriente. Ogni giorno, nel Mar Mediterraneo transita il 25% del trasporto marittimo mondiale. Nonostante gli effetti del cambiamento climatico sulla rotta artica, gli esperti ritengono che il Mar Mediterraneo manterrà un ruolo centrale anche in futuro. Questo è particolarmente valido considerando lo sviluppo previsto, già in corso, del continente africano. La posizione strategica dell'Italia al centro del Mediterraneo rende evidente il ruolo fondamentale che il "sistema portuale" svolge nell'ambito dell'intero sistema economico nazionale, è necessario prendere in considerazione anche gli altri elementi che li rendono competitivi: dalle regole che sovrintendono la logistica, la qualità delle infrastrutture retroportuali, l'esistenza di collegamenti con le grandi direttrici di traffico terrestre, la digitalizzazione e semplificazione delle procedure di transito delle merci e di gestione di un sistema logistico integrato; le caratteristiche delle concessioni per le attività che si svolgono nei porti, la necessità di rendere le aree portuali resilienti al cambiamento climatico e in grado di ridurre le emissioni di gas climalteranti e di altre sostanze inquinanti; la cooperazione tra le autorità che controllano il funzionamento dei porti e le procedure che ne guidano lo sviluppo "fisico. [6]

Ebbene, tutti questi aspetti sono stati oggetto di rilevanti azioni del Ministero anche in attuazione del "Piano Nazionale Strategico per la Portualità e la Logistica" varato nel 2016: infatti, alle numerose riforme, alcune delle quali previste nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (Pnrr), si sono aggiunti investimenti senza precedenti sui porti e sui retroporti, e importanti interventi di indirizzo strategico e di pianificazione (ad esempio la pianificazione dello spazio marittimo), anche in ottica di transizione ecologica e della trasformazione digitale. Quello che ci si ritrova è “un insieme articolato e complesso di interventi, che segue quelli relativi al “Programma Innovativo Nazionale per la Qualità dell’Abitare (PINQuA)”, “Gli investimenti e le riforme Pnrr per le infrastrutture idriche”, investimenti di competenza del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili (Mims) nell’ambito del Pnrr e del Piano Nazionale Complementare (Pnc), ai quali si aggiungono quelli relativi ai Green ports e alla logistica agroalimentare portuale, di competenza rispettivamente del Ministero dell’ambiente e della sicurezza energetica (Mase) e del Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (Mipaaf).” [6]

Il presente lavoro si focalizzerà principalmente sugli aspetti dell’efficientamento energetico e del Cold Ironing ovvero l’elettrificazione delle banchine.

3.1 Green Ports

Il Progetto Green Ports (PNRR M3C2) vede come attuatori le nove Autorità del sistema portuale (AdSP) del Centro-Nord e si pone come obiettivo quello di rendere le attività portuali sostenibili e compatibili con i contesti urbani portuali tramite il finanziamento di interventi volti all'efficientamento e alla riduzione dei consumi energetici in ambito portuale.

L'obiettivo principale della misura è ridurre le emissioni di CO₂ e migliorare la qualità dell'aria nelle città portuali attraverso interventi finalizzati all'efficienza energetica e alla promozione dell'uso dell'energia rinnovabile nei porti. I progetti sono selezionati tra quelli che le singole AdSP hanno indicato nei documenti di pianificazione energetica ambientale (DEASP) che le stesse hanno redatto secondo le linee guida messe a punto dal MASE, di concerto con il MIMS, allo scopo di migliorare l'efficienza energetica e promuovere l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili. L'obiettivo finale è quello di ridurre del 20% le emissioni annue totali di CO₂ nell'area portuale interessata, ma il programma Green Ports è finalizzato anche a ridurre in modo significativo altri inquinanti da combustione, che sono la causa principale del deterioramento della qualità dell'aria nelle città portuali, aumentando la dinamicità e la competitività del sistema portuale italiano, in un'ottica di riduzione delle emissioni climalteranti oltre a promuovere la conservazione del patrimonio naturalistico e della biodiversità. [6] Sono quindi previsti interventi quali:

- la produzione di energia da fonti rinnovabili;
- l'efficienza energetica degli edifici portuali;
- l'efficienza energetica dei sistemi di illuminazione;
- l'utilizzo di mezzi di trasporto elettrici;
- interventi sulle infrastrutture energetiche portuali non efficienti;
- la realizzazione di infrastrutture per l'utilizzo dell'elettricità;
- la riduzione delle emissioni inquinanti delle navi in banchina.

Le Autorità di Sistema Portuale beneficiarie del progetto Green Ports, per un importo complessivo di 270 milioni di euro (di cui 45 milioni di euro riservati ai concessionari), sono quelle: del Mar Ligure Occidentale, del Mar Ligure Orientale, del Mar Tirreno Settentrionale, del Mar Tirreno Centro Settentrionale, del Mare Adriatico Centrale, del Mar Adriatico Centro Settentrionale, del Mar Adriatico Settentrionale, del Mar Adriatico Orientale, e del Mar di Sardegna.

Di seguito si riportano due tabelle riportanti la suddivisione dei finanziamenti previsti per le autorità portuali.

Tabella 1: Ripartizione per AdSP [6]

Autorità di Sistema Portuale		Totale tonn.	Totale TEU	Unità Ro-Ro	Totale Passeggeri	soglia	tonn	teu	oro	passaggeri	Media dei coefficienti di attività	Fattore moltiplicativo (media coeff+2)/3	QUOTA BASE CORRETTA [(media coeff+2)/3]xquota base	QUOTA BASE CORRETTA E ARROTONDATA (milioni di €)
1	Mar Ligure Occidentale	67.151.934	2.669.917	550.130	4.547.261	1	1,87	3,44	1,91	1,40	2,16	1,39	34,63 €	35
2	Mar Ligure Orientale	18.882.849	1.490.537	19.589	649.586	1	0,53	1,92	0,07	0,20	0,68	0,89	22,32 €	22
3	Mar Tirreno Settentrionale	44.973.226	789.833	713.609	9.786.648	1	1,26	1,02	2,48	3,01	1,94	1,31	32,83 €	33
4	Mar Tirreno Centro Settentrionale	14.601.237	112.249	232.942	4.460.979	1	0,41	0,14	0,81	1,37	0,68	0,89	22,36 €	22
5	Mare Adriatico Centrale	11.804.844	176.193	143.874	1.202.973	1	0,33	0,23	0,50	0,37	0,36	0,79	19,64 €	20
6	Mare Adriatico Centro Settentrionale	26.256.248	218.138	66.853	17.536	1	0,73	0,28	0,23	0,01	0,31	0,77	19,27 €	19
7	Mare Adriatico Settentrionale	26.306.185	593.126	79.274	1.814.485	1	0,73	0,76	0,28	0,56	0,58	0,86	21,62 €	22
8	Mare Adriatico Orientale	66.091.743	790.542	227.805	189.261	1	1,85	1,02	0,79	0,06	0,93	0,98	24,40 €	24
9	Mare di Sardegna	46.268.730	151.405	558.677	6.583.298	1	1,29	0,19	1,94	2,03	1,36	1,12	28,02 €	28
Totale		322.336.996	6.991.940	2.592.753	29.252.027								225	225
Media per AdSP		35.815.222	776.882	288.084	3.250.225									
Quota base per AdSP (€)		25.000												
Proporzione riferimento		Valore medio : Valore riferimento = 1 : x												
Fonte: https://www.assoporti.it/media/8282/adsp_movimenti_portuali_2019_agg_19febbraio2021.pdf														

Tabella 2: Ripartizione per AdSP (riservati ai concessionari/terminalisti) [6]

Autorità di Sistema Portuale		Totale tonn.	Totale TEU	soglia	tonn	teu	Media dei coefficienti di attività	Fattore moltiplicativo (media coeff+2)/3	QUOTA BASE CORRETTA [(media coeff+2)/3]xquota base	QUOTA BASE CORRETTA E ARROTONDATA (milioni di €)
1	Mar Ligure Occidentale	67.151.934	2.669.917	1	1,87	3,44	2,66	1,55	7.759.718,91 €	8,0
2	Mar Ligure Orientale	18.882.849	1.490.537	1	0,53	1,92	1,22	1,07	5.371.536,31 €	5,5
3	Mar Tirreno Settentrionale	44.973.226	789.833	1	1,26	1,02	1,14	1,05	5.226.976,37 €	5,0
4	Mar Tirreno Centro Settentrionale	14.601.237	112.249	1	0,41	0,14	0,28	0,76	3.793.474,12 €	4,0
5	Mare Adriatico Centrale	11.804.844	176.193	1	0,33	0,23	0,28	0,76	3.796.999,25 €	4,0
6	Mare Adriatico Centro Settentrionale	26.256.248	218.138	1	0,73	0,28	0,51	0,84	4.178.241,24 €	4,0
7	Mare Adriatico Settentrionale	26.306.185	593.126	1	0,73	0,76	0,75	0,92	4.581.639,16 €	4,5
8	Mare Adriatico Orientale	66.091.743	790.542	1	1,85	1,02	1,43	1,14	5.719.113,55 €	5,5
9	Mare di Sardegna	46.268.730	151.405	1	1,29	0,19	0,74	0,91	4.572.301,09 €	4,5
Totale		322.336.996	6.991.940						45.000.000	45,0
Media per AdSP		35.815.222	776.882							
Quota base per AdSP (€)		5.000.000								
Proporzione riferimento		Valore medio : Valore riferimento = 1 : x								
Fonte: https://www.assoporti.it/media/8282/adsp_movimenti_portuali_2019_agg_19febbraio2021.pdf										

3.2 Il cold ironing: un progetto per la decarbonizzazione dei porti

“Il trasporto marittimo, nonostante sia il metodo più efficiente per trasportare merci e persone in grandi quantità, presenta forti criticità ambientali dovute al ricorso di carburanti di bassa qualità, che provocano delle esternalità negative sia in navigazione che soprattutto nella fase di stazionamento in porto.” [6]

Questo perché mercantili, portacontainer, pescherecci e navi da crociera, una volta in banchina, devono continuare a utilizzare strumentazioni, dispositivi e macchinari necessari alle operazioni logistiche e alla vita a bordo e per farlo, hanno due strade:

Tenere accesi i motori ausiliari o di bordo a bassi carichi o ricevere elettricità da terra.

La prima soluzione, oggi diffusa e da sempre utilizzata, ha un considerevole impatto sull'ambiente, anche quando vengono usati carburanti con minore concentrazione di zolfo, in particolare, i motori accessi in fase di ormeggio non soltanto comportano un elevato tasso di inquinamento emettendo anidride carbonica, ossidi di azoto, PM10 e PM2,5 nell'area portuale e nel territorio all'interno del quale il porto è inserito, ma sono anche fonte di rumore riscontrabile in un raggio chilometrico significativo.

La seconda soluzione tecnologica che consente di ridurre l'inquinamento atmosferico e acustico in fase di ormeggio è la realizzazione di impianti per il collegamento delle navi alla rete elettrica, il cosiddetto cold ironing o Alternative Marine Power AMP.

Fornendo energia elettrica ad una nave ormeggiata in porto, tramite il collegamento alla rete elettrica di terra si permette di spegnere i motori di bordo e di alimentare le apparecchiature di emergenza, refrigerazione, riscaldamento, illuminazione e altri apparecchi mentre la nave carica o scarica il proprio carico o svolge altre attività mentre è ormeggiata, permettendo così di ridurre o azzerare le emissioni inquinanti nel caso di energia elettrica proveniente completamente da fonti rinnovabili. [7]

“In base ai dati di una ricerca dell'organizzazione Transport & Environment, le emissioni “all'ormeggio” di un porto come Rotterdam raggiungono le 640 migliaia di tonnellate di CO2 l'anno, quelle di Anversa le 351 e al Pireo superano di poco le 200.” [8]

La situazione italiana non è migliore, anzi. Sebbene solo il porto di Genova si collochi al decimo posto tra gli scali più inquinanti, l'Italia occupa il primo posto per la quantità di emissioni prodotte dalle navi nei principali porti lungo il suo litorale: 1.165 migliaia di tonnellate all'anno.

“Una questione rilevante se si pensa che il 90% dei porti europei si trova in zone urbane altamente abitate” [2].

A titolo esemplificativo: una nave collegata al cold ironing riduce le emissioni di CO₂, di circa il 70% a seconda del mix energetico da cui proviene l'energia e quelle di NO_x, PM₁₀, PM_{2,5} di oltre il 90%. Ovviamente, per il funzionamento dell'infrastruttura è necessario che sia la banchina sia la nave siano predisposte per realizzare tale collegamento.

Nel 2020, il MIMS (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti), al fine di contribuire all'obiettivo di ridurre l'inquinamento ambientale e acustico nelle aree portuali, ha iniziato a esaminare le possibilità dell'elettrificazione delle banchine portuali per le navi ormeggiate dotate di impianti con una potenza installata nominale superiore a 35 kW. In particolare, è stato costituito un gruppo di lavoro con gli esperti del Ministero (Struttura Tecnica di Missione e Direzione generale porti), di RAM, di Assoporti, della Guardia Costiera, di ARERA, di Cassa Depositi e Prestiti, di Terna e di Fincantieri, con l'obiettivo di: svolgere un'attività di studio dei profili normativi, tecnici, economici e regolatori; elaborare una strategia di sviluppo infrastrutturale e roadmap per l'attuazione tenendo in considerazione gli aspetti industriali, tecnologici, economici e giuridici al fine di evitare gli effetti distorsivi della concorrenza, garantendo che il processo di elettrificazione sia implementato in tutti i porti interessati in modo coordinato e uniforme. [6]

Sebbene i vantaggi ambientali del cold ironing siano importanti, in Italia lo sviluppo dell'infrastruttura è stato ostacolato da vincoli di varia natura sia sotto il profilo dell'offerta che della domanda. Dal punto di vista dell'offerta le principali barriere sono state: i tempi di sviluppo dei progetti superiori ai 4/5 anni a causa di processi autorizzativi complessi e lunghi; tempi di ritorno lunghi e incerti per le AdSP e gli operatori interessati ad investire in queste infrastrutture; una filiera logistica complessa con molti stakeholder da coordinare; gap regolatori e normativi. Sul lato della domanda la criticità più rilevante è la mancanza di competitività economica della tariffa elettrica ad uso industriale rispetto al costo di autoproduzione di energia elettrica a bordo nave: infatti, la differenza a sfavore del collegamento alla rete elettrica è pari, al netto dei recenti rincari, a circa il 35-40%, il che renderebbe inesistente la convenienza ad utilizzare il cold ironing. Inoltre, le navi andrebbero predisposte al cold ironing, il che richiede investimenti per il retrofit del naviglio esistente

Per superare le criticità si è deciso di realizzare un intervento pubblico per lo sviluppo e la promozione dell'infrastruttura, agendo sia sull'offerta che sulla domanda. Le misure intraprese hanno allocato:

- 755 milioni di euro di contributi pubblici (di cui 700 milioni forniti dal Piano Nazionale Complementare) per finanziare il 100% degli investimenti per l'elettrificazione di 47 porti;



Fonte: MIMS

- 500 milioni di euro per il rinnovo della flotta esistente, anche per predisporla al cold ironing.

Figura 3-1; I porti coinvolti nell'elettificazione

Volendo scendere nello specifico per quanto riguarda il caso preso in esame del porto di Porto Torres a seguire riporto quanto indicato nella pagina n.104 del documento (INVESTIMENTI E RIFORME DEL PNRR PER LA PORTUALITA') [6] pubblicato nel sito del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

COSTRUZIONE E MESSA IN ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI ON-SHORE POWER SUPPLY (COLD-IRONING) PER L'ALIMENTAZIONE ELETTRICA IN MT DI NAVI DA CROCIERA E DI VARIO TIPO NEI PORTI DELL'AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE DI SARDEGNA

Autorità di Sistema Portuale	ADSP Mare di Sardegna
Porti	Olbia – Golfo Aranci – Santa Teresa Gallura – Porto Torres – Portovesme – Cagliari Porto Storico – Cagliari Porto Canale
Missione	M3C2
Fonte Finanziamento	PNC
Importo Finanziamento	70,830 mln €

L'obiettivo è quello di alimentare elettricamente le navi in sosta attraverso una connessione in cavo proveniente dalla banchina così da consentire lo spegnimento dei motori. Le esigenze di potenza, tensione e frequenza tipiche delle varie navi richiedono una notevolissima flessibilità degli impianti di banchina con conseguenti criticità elettriche che vanno ovviamente risolte. L'estensione e l'uso previsti per l'impianto, il numero e le caratteristiche delle navi, la contemporaneità delle soste in porto e la loro posizione lungo il molo, avranno un impatto significativo sui costi dell'impianto. Gli schemi elettrici e costruttivi da adottare possono variare notevolmente in base a questi fattori. Pertanto, è importante tenere conto di tali variabili nella pianificazione e nella progettazione dell'impianto elettrico, poiché influenzeranno in modo significativo i costi complessivi del progetto. La disponibilità di potenza elettrica dalla rete nazionale è un aspetto chiave da considerare per il successo del progetto. Deve essere inoltre garantita la quantità di energia necessaria per alimentare le navi e le attività portuali in modo affidabile. Tutte le scelte progettuali verranno fatte con l'obiettivo di fornire soluzioni atte a garantire il massimo livello di funzionalità, flessibilità ed affidabilità nonché di elevato rendimento energetico. Importi finanziati e potenza richiesta per singoli porti:

Porto di Olbia € 21.560.000,00 Potenza richiesta 22 MW

Porto di Golfo Aranci € 2.400.000,00 Potenza richiesta 3 MW

Porto di Santa Teresa Gallura € 500.000,00 Potenza richiesta 0,6 MW

Porto di Porto Torres – Porto Industriale – Porto Commerciale € 12.750.000,00 Potenza richiesta 15 MW

Porto di Portovesme € 500.000,00 Potenza richiesta 0,6 MW

Porto di Cagliari – Porto Storico € 20.900.000,00 Potenza richiesta 22 MW

Porto di Cagliari – Porto Canale € 12.220.000,00 Potenza richiesta 13 MW

Ulteriori considerazioni

Per fornire un servizio di cold ironing è, quindi, necessario realizzare un'infrastruttura di terra legata alla rete elettrica nazionale composta da elementi quali: una sottostazione principale con il compito di collegare il porto alla rete elettrica, un convertitore di frequenza che fornisca livelli di frequenza di 50 o 60 Hz, un trasformatore in grado di adattare la tensione alle esigenze di potenza di diverse imbarcazioni ed infine le apparecchiature di connessione e di interfaccia, che consentano la trasmissione di energia elettrica da terra alla nave. Al tempo stesso potrebbero essere necessari degli interventi nella rete elettrica, che deve poter sostenere i bisogni energetici di utilizzatori fra di loro diversi. È infatti sufficiente immaginare due navi di grandi dimensioni, una portacontainer e l'altra da crociera con a bordo 4-5mila persone fra passeggeri ed equipaggio e ormeggiate in uno dei porti cittadini del nostro continente: i consumi della prima saranno ridotti rispetto a quelli della seconda, addirittura assimilabili a quelli di una cittadina di piccole dimensioni. [8]

Uno degli aspetti più critici è che solo poche navi sono equipaggiate per ricevere un'alimentazione elettrica esterna ed eventuali operazioni di retrofit sono più onerose rispetto a navi o imbarcazioni già nate con questa predisposizione.

Non ultimo tema da considerare è quello della disponibilità in sito della potenza elettrica da prelevare dalla rete nazionale.

Dimensionamento dell'impianto

Per il dimensionamento è necessario redigere un diagramma di carico dettagliato che tenga conto dei seguenti dati:

- elencazione e codifica delle navi
- programma di soste annue in banchina
- dislocazione in banchina
- potenza necessaria alla singola nave
- tensione MT necessaria alla singola nave
- frequenza di funzionamento della singola nave (50Hz o 60Hz)

La corretta elaborazione dei suddetti dati fornisce tra l'altro il valore di potenza di picco dell'impianto tenendo ovviamente conto della contemporaneità delle varie navi, questa influisce sul costo dell'impianto e dei futuri costi fissi per la fornitura.

Poiché tali impianti sono alimentati generalmente in Media Tensione e la potenza di picco può andare da 1-3 MVA a 10-15MVA, la rete elettrica di distribuzione esistente deve essere monitorata in dettaglio perché ci si possa rendere conto, congiuntamente all'ente distributore, della disponibilità di potenza presso punti di prelievo esistenti (cabine MT di distribuzione) in caso negativo verrà valutato il potenziamento o la creazione di nuove linee in modo che l'aggiunta di carichi non diventi un elemento di disturbo per le utilizzazioni esistenti soprattutto per le cadute di tensione introdotte, per i picchi di assorbimento e per le armoniche in rete.

Specificità elettriche del sistema di alimentazione

Come noto, la tensione MT disponibile nelle varie aree geografiche d' Italia varia generalmente da valori nominali di 8,4kV fino a 23kV, passando attraverso valori intermedi.

Se si vuole semplificare si può dire che le aree costiere sono in genere caratterizzate da valori di tensione di 15kV (Toscana, Sardegna, ecc..) o 20kV alla frequenza di 50Hz.

Le tensioni più usuali per le navi sono, invece, 6,6kV e 11kV non mancando esempi di imbarcazioni con valori di tensione diversi.

L'elemento più critico è però la frequenza che in Europa è di 50Hz mentre quella maggiormente utilizzata dalle imbarcazioni è di 60Hz come in America.

Caratteristiche cold ironing per IEC 80005-1

All.	tipo di nave	connessione		argano	tensione [kV]	messa a terra	Potenza [MVA]	numero cavi		Iccmax [kA]
		terra	nave					potenza	segnale	
B	Roll-on Roll-off	spina	presa	a terra	11	335 Ω	6,5	1	no	16
	Traghetti locali				6,6	200 Ω				
C	Navi da crociera	spina	presa	a terra	11/6,6	540 Ω	16 (20)	4	2	25
D	Portacontainer	presa	spina	a bordo	6,6	200 Ω	7,5	2	no	16
E	Gasiere (LNGC)	spina	presa	a terra	6,6	isolato	10,7	3	1	25
F	Petroliere	spina	presa	a terra	6,6	non precisata	2 (3) x 3,6	2 (3)	no	16

Figura 3-2 :Caratteristiche connessioni per cold ironing (IEC0005-1) [8]

Mentre l'adattamento di tensione avviene attraverso trasformatori con tecnologia semplice e consolidata, l'adattamento di frequenza può avvenire solo attraverso convertitori elettronici di tecnologia avanzata. Pertanto, la necessità di ricorrere sia a trasformatori che a convertitori a stato solido all'interno degli impianti di banchina (oltre ad altre numerose apparecchiature ausiliarie e di controllo) determina una complessità di progettazione e gestione che va comunque evidenziata.

L'assorbimento dell'impianto On-Shore Power Supply sulla rete nazionale nell'area elettrica di competenza genera un gradiente in termini di kW/s non indifferente legato alle procedure di parallelo che la singola nave alimentata deve effettuare e che porta la rete a dover fornire potenza a singoli utilizzatori di grossa potenza (navi) entro pochissimi secondi, tale situazione può determinare abbassamenti momentanei di tensione a danno delle utenze limitrofe al porto, ma una progettazione accurata può evitare tale inconveniente.

Altro inconveniente che non può eliminarsi del tutto ma può solo essere limitato è quello delle armoniche dovute soprattutto ai convertitori statici di frequenza che portano alla distorsione delle correnti assorbite dalla rete e di conseguenza alla distorsione della tensione di rete nelle aree vicine all'impianto di banchina, è possibile ridurre notevolmente questi disturbi armonici a frequenze multiple di 50Hz organizzando opportunamente la conversione da 50Hz a 60Hz.

Devono infatti essere utilizzati raddrizzatori "dodecafase", alimentati da specifici trasformatori, che producono tensioni continue all'interno dei convertitori (da riconvertire in sinusoidi a 60Hz o 50Hz con gli inverter interni ai convertitori), con bassissimo ripple e quindi basse distorsioni armoniche.

Inoltre, quando è presente un sistema elettronico complesso come un convertitore statico è necessario procedere ad un'analisi approfondita delle possibilità di guasto soprattutto per cortocircuito che diviene più complessa a causa della presenza di elementi non lineari come i componenti elettronici (thyristori, ecc...), sarà necessaria una progettazione accurata dei vari sistemi affinché si possano raggiungere alti livelli di affidabilità, di funzionalità e sicurezza.

Interfaccia elettrica con le navi

Uno degli elementi critici dal punto di vista progettuale e costruttivo è il sistema fisico di connessione elettrica tra nave e banchina.

Le navi storicamente non hanno mai avuto l'esigenza di questo tipo di connessioni in quanto, come è noto, hanno una loro autonomia di generazione elettrica a bordo; perciò solo recentemente molte compagnie hanno previsto a bordo della loro flotta un sistema di connessione costituito da connettori elettrici posti a tenuta stagna dietro un portello rimovibile o comunque soluzioni costruttive similari seppur molto varie.

Vi sono varie opzioni progettuali caratteristiche e diverse fra loro per flessibilità e sicurezza ma anche per semplicità di uso e gestione.

La prima problematica che si pone è quella della connessione fisica in cavo fra nave e banchina, la posizione relativa tra nave e punto di connessione può variare in base alle dimensioni della prima, per tale motivo la banchina deve essere disponibile a fornire una connessione fisica flessibile e adattabile geometricamente ai vari tipi di navi e di attracchi.

La soluzione più usata è un sistema di distribuzione dei cavi lungo la banchina costituito da una infrastruttura tecnico-impiantistica fissa e da una parte mobile denominata NMPS (Naval Mobile Power System).

Le componenti di questo sistema sono:

- le junction-boxes, e cioè armadi fissi di distribuzione elettrica situati lungo la banchina (a volte interrati e accessibili tramite semplici scalette) dotati di prese elettriche MT e di specifici dispositivi di sicurezza
- il carro semovente NMPS portante la bobina dei cavi MT e BT che costituiranno, opportunamente "srotolati", l'elemento di connessione fisica nave-banchina, corredato peraltro di gru a bordo per "porgere" i cavi elettrici al punto di connessione a bordo nave
- un sistema guida cavi che lascia i cavi MT-BT tra junction-boxes e NMPS incassati in banchina senza specifici impedimenti al transito degli automezzi.

Alternativamente è possibile disporre di junction-boxes disposte in modo più ravvicinato e dotate di varie prese MT in funzione della frequenza e della tensione di cui necessita la nave.

Ciò, ad esempio, rende leggermente più costoso il sistema fisso a terra (cabina di conversione e junction-boxes) seppur più semplice da gestire; in questo caso diviene molto più semplice anche il

sistema di allaccio alla nave che consta di un connettore in cavo di lunghezza, peso ed ingombro limitato.

Un ulteriore ed ancora più semplice sistema potrebbe adottarsi qualora, come le più moderne tendenze suggeriscono, i sistemi di adattamento di tensione e frequenza si trovano a bordo nave inseriti nel contesto degli impianti di bordo. In questo caso gli impianti di banchina si riducono a semplici alimentatori a 50Hz (in Europa) o 60Hz (in America) ed i rispettivi sistemi di allaccio alla nave, laddove, come detto, i convertitori ed i trasformatori di interfaccia nave-banchina si trovano a bordo.

In quest'ultimo caso i costi di impianto si riducono moltissimo, ma esso non risulta applicabile sulle flotte già esistenti non dotate di connessione né tantomeno di convertitore.



Figura 3-3: carro semovente per connessione alla banchina - fonte:(cittafuture.quotidiano.net)

Di seguito vediamo uno schema dell'architettura utilizzata per il cold ironing, il convertitore di frequenza è necessario solo nel caso la frequenza di rete sia differente da quella di bordo, mentre i trasformatori sia elevatori che riduttori sono sempre presenti.

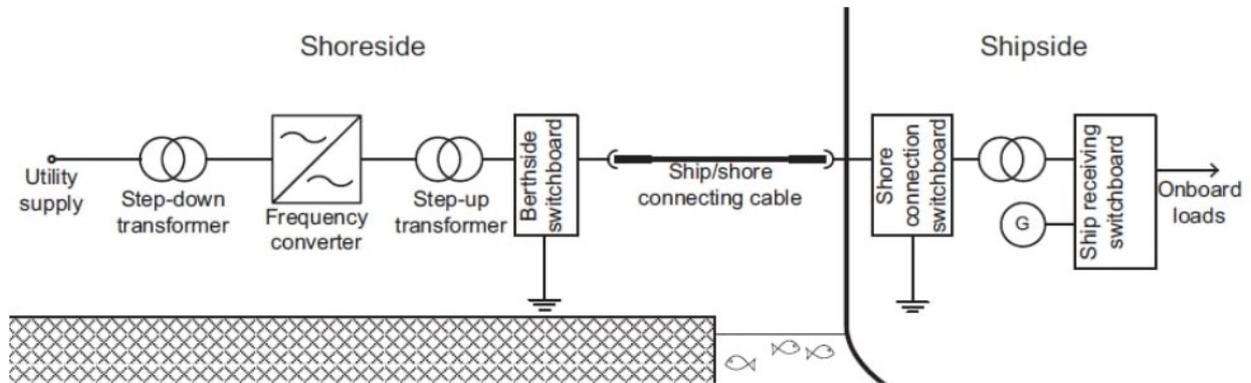


Figura 3-4: Electrical characteristics of cold ironing energy supply for berthed ships – fonte: (Edward A. et al, 2015 electrical characteristics of cold ironing energy supply transportation)

3.3 Linee guida

Al fine di agevolare la redazione dei Documenti di Pianificazione Energetico Ambientale dei Sistemi Portuali DEASP è stato disposto dal MATTM un documento apposito che espone le linee guida il cui ambito di riferimento si limita al settore energetico, in modo tale da perseguire prefissati obiettivi, con particolare riferimento alla riduzione delle emissioni di CO₂ e conseguentemente un miglioramento di tutti i parametri ambientali che trovano giovamento dal miglioramento dell'efficienza energetica e dall'uso delle energie rinnovabili. [9]

Questo documento è stato preso in questo lavoro di tesi come punto di riferimento per individuare alcuni degli interventi di efficientamento più rilevanti in ambito portuale, le loro criticità e la metodologia di valutazione oggettiva a livello economico e delle emissioni. I contenuti dei DEASP secondo quanto indicato dal documento contenente le linee guida possono essere così riassumibili:

- Identificazione dei traguardi per la sostenibilità energetico-ambientale del porto;
- Determinazione delle azioni e delle strategie necessarie per raggiungere gli obiettivi prefissati;
- analisi della fattibilità tecnico-economica, inclusa la valutazione tramite un'analisi costi-benefici;
- Pianificazione delle azioni, anche in fasi o parziali, entro un determinato periodo di tempo, con chiari obiettivi da conseguire;

L'identificazione degli obiettivi e il monitoraggio dei risultati delle azioni intraprese richiedono lo sviluppo di uno strumento di controllo, allo scopo di:

- Realizzare un quadro attuale della situazione.
- Identificare le problematiche esistenti.
- Stabilire gli obiettivi relativi all'ambiente ed all'energia, considerando le necessità del territorio e i migliori standard.
- Definire obiettivi intermedi da raggiungere entro scadenze prestabilite.
- Verificare i progressi ottenuti mediante il monitoraggio dei risultati.

Sarebbe vantaggioso associare questa valutazione a un approccio metodologico riconosciuto e standardizzato al fine di garantire coerenza in questa fase tra vari sistemi portuali.

Per la valutazione dell'efficacia energetico-ambientale degli interventi si richiede la ricostruzione dei dati di consumo energetico e di emissioni di CO₂ della situazione ante-intervento, la metodologia individuata come più adeguata al monitoraggio dei GHG Green house gas è la “**Carbon Footprint**”, definita dalle norme UNI EN ISO 14064.

3.3.1 Carbon Footprint

In generale, il settore portuale incide in maniera significativa sull'impatto climatico per via dell'elevato fabbisogno energetico.

Sono numerose le fonti di emissioni direttamente e indirettamente collegate alle attività portuali. Ad esempio, queste fonti includono: il consumo energetico degli edifici (sia da centrali termiche che dall'energia elettrica prelevata dalla rete), i veicoli utilizzati per l'amministrazione portuale, le centrali che forniscono energia per gli uffici amministrativi e i fabbricati per la manutenzione, gli impianti di movimentazione merci che utilizzano diversi tipi di carburante, nonché le operazioni di carico e scarico di navi, camion, treni e altro ancora.

Queste fonti di emissioni producono i cosiddetti Gas ad effetto serra (GHG –green house gases), identificati dalla Convenzione sui cambiamenti Climatici (UNFCCC): anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄), protossido d'azoto (N₂O), idrofluorocarburi (HFCs), esafluoruro di zolfo (SF₆), perfluorocarburi (PFCs) e trifluoruro di azoto (NF₃); il loro insieme genera l'impronta climatica, meglio conosciuta con la sua dizione inglese, carbon footprint.

L'unità di misura utilizzata per esprimere i risultati di un inventario dei gas serra è la CO₂ equivalente; Che consente di rendere confrontabili gli effetti dei diversi gas, considerando le loro diverse capacità di assorbire la radiazione infrarossa e la loro persistenza nell'atmosfera. La standardizzazione viene effettuata mediante un indice specifico chiamato Potenziale di Riscaldamento Globale (Global Warming Potential - GWP), il quale varia a seconda del periodo temporale considerato per valutare gli effetti sul cambiamento climatico (ad esempio, 20, 100 o 500 anni); [9] I fattori di conversione a CO₂ equivalente approvati dall' UNFCCC sono riportati nel 4° Assessment Report dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Misurazione dell'inventario di GHG in base alla norma UNI ISO 14064:

“La norma UNI ISO 14064 specifica i principi e i requisiti, a livello dell'organizzazione, per la quantificazione e la rendicontazione delle emissioni di gas ed effetto serra (GHG) e della loro rimozione.” [9].

Essa comprende i requisiti relativi alla progettazione, allo sviluppo, alla gestione, alla rendicontazione e alla verifica dell'inventario identificata nel nostro caso con l'Autorità di Sistema Portuale (AdSP), comprendendo inoltre le emissioni di altri soggetti che svolgono attività all'interno del porto.

“Un inventario di GHG deve garantire il rispetto dei seguenti principi al fine di conformarsi con la UNI ISO 14064:” [9]

- **Pertinenza:** il risultato finale della valutazione deve rappresentare una base comprensibile ed affidabile per le successive decisioni.
- **Completezza:** devono essere incluse tutte le sorgenti delle emissioni entro i confini prestabiliti. Riportando e giustificando tutti i passi importanti ed eventuali esclusioni.
- **Coerenza:** l'applicazione della metodologia deve essere coerente, è essenziale per ottenere una comparazione significativa delle informazioni nel corso degli anni.
- **Trasparenza:** eventuali assunzioni o previsioni si devono rendere pubbliche indicando le fonti utilizzate per i dati e le metodologie.
- **Accuratezza:** Il livello di incertezza nella quantificazione delle emissioni deve essere ridotto il più possibile.

3.3.2 Interventi e obiettivi

Tra gli indirizzi strategici da perseguire per la sostenibilità energetica ed ambientale, si possono considerare, gli interventi nel settore energetico dei porti raggruppandoli in tre aree:

- a.** Consumi energetici delle imbarcazioni; elettrificazione delle banchine, alimentazione delle grandi navi a GNL, comprendendo eventuali infrastrutture associate e misure di incentivazione per gli armatori che intendano adeguare le navi stesse.
- b.** Consumi energetici degli edifici e delle strutture portuali, comprese le attrezzature quali gru, magazzini refrigerati, veicoli di servizio; questi interventi comprendono tutte le opere di edilizia civile (isolamenti dell'involucro, infissi, impianti di riscaldamento efficienti (pompe di calore), schermature solari, etc..) e l'illuminazione delle aree esterne.
- c.** altre misure che non comportano direttamente opere di efficientamento, ma che potrebbero attivare notevoli risparmi di energia promuovendo impianti/attrezzature meno energivori e/o a fonti energetiche rinnovabili.

“Per quanto riguarda l’energia elettrica, dato che in ogni area portuale si trovano ad operare in maniera indipendente centinaia di operatori, è necessario prevederne una gestione unitaria nell’area del sistema portuale, coordinata dall’AdSP, in una visione di unica utenza integrata come “portgrid” o microgrid portuale. “ [9]

Questo approccio consente di integrare in modo più agevole la generazione di energia a livello locale e la possibilità di accumulare energia da parte di tutti i singoli impianti elettrici utenti.

Gli obiettivi specifici da perseguire per migliorare la sostenibilità energetica del Sistema Portuale, come indicato nelle Linee-Guida per i PRdSP, possono essere così sintetizzati:

- “miglioramento dell’efficienza energetica degli edifici, delle strutture e degli impianti, favorendo l’abbandono di combustibili particolarmente inquinanti a favore del GNL, quando non è possibile o conveniente elettrificare il consumo;” [9]
- adozione di misure di incentivazione a sostegno degli operatori portuali ed in particolare terminalisti che investano in impianti/attrezzature meno energivori e/o a fonti energetiche rinnovabili;
- conversione dei consumi verso il vettore elettrico, se validata dall’analisi costi-benefici,

Valutazione di fattibilità tramite analisi costi-benefici

“L’Analisi Costi-Benefici (ACB) è una tecnica per valutare e ottimizzare la variazione nel benessere economico, derivante da un investimento, attraverso la definizione e la misurazione dei costi e dei benefici anche sociali di un progetto in un dato periodo di riferimento.” [9]

L’analisi dei costi e benefici sociali (ACB) non tiene conto solo dei vantaggi e dei costi per chi propone un progetto, ma considera anche quelli che ricadono sulla collettività, con un’attenzione particolare agli aspetti ambientali e sociali. L’obiettivo dell’ACB è quindi quello di agevolare una distribuzione più efficiente delle risorse, dimostrando se un determinato intervento è conveniente o meno per la società nel suo complesso.

I due scopi principali dell’ACB in un contesto di finanziamento pubblico sono:

- determinare se il finanziamento pubblico di un progetto può essere giustificato (cosiddetta “convenienza economico-sociale”);
- valutare l’importo di finanziamento pubblico necessario o verificarne l’adeguatezza nel caso di fondi già stanziati. (“convenienza finanziaria del progetto”).

Per l'ACB di progetto si prevedono due fasi principali: l'Analisi finanziaria, attraverso la quale ne viene valutata la redditività, e l'Analisi economico-sociale che, partendo dai dati economico-finanziari del progetto e analizza gli effetti socioeconomici e ambientali, quantificandone i costi e i benefici per la collettività.

L'ACB richiede l'adozione di un'unità di misura comune, di tipo monetario, e si conclude col calcolo di indicatori quali il rapporto benefici costi (B/C), il valore attuale netto economico (VANE) e il tasso interno di rendimento economico-sociale (TIRE).

Nel nostro caso useremo le sue forme semplificate. Essendo uno studio preliminare soggetto necessariamente ad alcune assunzioni con un certo grado di incertezza, l'ACB consisterà nel calcolo di un indicatore che sintetizzi solo alcune voci economiche più importanti come il rapporto "semplificato" benefici – costi, o che rapporti i costi a risultati espressi in termini fisici "analisi costi-efficacia".

"Le tecniche di ACB sono particolarmente indicate per valutare l'utilità sociale di progetti onerosi per la collettività, ma ricchi di effetti ambientali positivi, sia diretti che indiretti, come gli interventi di miglioramento energetico-ambientale dei porti in oggetto." [9]

Vediamo quindi com'è strutturata l'analisi costi-benefici nel dettaglio nel caso di interventi di miglioramento energetico-ambientale:

$$\frac{C_{ext\ evitati}}{C_{investimento} + C_{esercizio}}$$

dove $C_{ext\ evitati}$ sono i costi esterni ambientali evitati dall'intervento energetico-ambientale nel periodo di riferimento rispetto allo scenario senza intervento (opportunosamente attualizzati all'anno base dell'analisi), e $C_{investimento} + C_{esercizio}$ sono i costi nel periodo di riferimento del progetto direttamente desunti dal Piano economico-finanziario (anch'essi attualizzati all'anno base dell'analisi e calcolati in termini differenziali rispetto allo scenario assunto come riferimento).

3.3.3 Analisi costi-efficacia

L'analisi costi – efficacia è una procedura di valutazione semplificata per calcolare uno o più indicatori che rapportino i costi economici di un intervento a benefici il più possibile rappresentativi dei principali risultati attesi di un progetto, espressi con un'unità di misura non monetaria.

La semplificazione avviene principalmente in due modi:

- la rappresentazione dei risultati con un'unità di misura fisica ci fornisce subito un'idea dell'efficacia in base all'obiettivo del progetto;
- a livello dei costi, può essere possibile far riferimento ai soli costi di investimento, evitando le incertezze di valutazione preventiva dei costi di esercizio.

“Nel caso dei progetti energetico-ambientali, il focus è facilmente individuabile nell'obiettivo di riduzione delle emissioni di CO2 del progetto.” [9]

L'indicatore di costo – efficacia è dato dal costo d'investimento in rapporto alle emissioni di CO2 equivalenti complessivamente evitate durante tutta vita tecnica del progetto.

Per valutare appieno gli impatti positivi di interventi energetico-ambientali mirati a ridurre le emissioni di CO2, è importante considerare anche i benefici collaterali che riguardano altri fattori inquinanti, come il particolato, l'ossido di azoto (NOx), il biossido di zolfo (SO2), le emissioni sonore, ecc. Questi aspetti possono contribuire in modo significativo alla valutazione complessiva di un progetto, per tenerne conto è auspicabile l'utilizzo di indicatori multipli, rapportandoli alla medesima voce di costo (investimento iniziale ± aumento/riduzione dei costi di esercizio nella vita tecnica).

Nelle linee guida viene consigliata la seguente formula che utilizza i seguenti fattori di equivalenza tra inquinanti CO2, PM2.5 ed Nox:

$$\frac{a * \text{ton CO}_2 \text{ evitate} + b * \text{ton PM}_{2,5} \text{ evitate} + c * \text{ton NO}_x \text{ evitate}}{C_{\text{Inv}}}$$

Dove: t CO2 evitate, t PM2,5 evitate, t NOx evitate sono i quantitativi cumulati delle emissioni annuali evitate dal progetto nel periodo di riferimento, rispetto allo scenario alternativo, mentre i parametri a, b, c esprimono i fattori equivalenza alle emissioni di CO2 17 : a = 1 b = 2193 c = 120

3.3.4 Progetti di riduzione della CO2 mediante elettrificazione (stazioni di allaccio alla rete delle navi in banchina, gru mobili, pompe di calore, veicoli elettrici, ecc)

Per i progetti di elettrificazione, è importante considerare non solo i costi ambientali evitati rispetto alle soluzioni basate sui combustibili fossili ma anche quelli associati all'energia elettrica prelevata dalla rete considerandone la differenza.

Nel progetto, è necessario quantificare i consumi di combustibile e le emissioni atmosferiche nello scenario in cui le navi ormeggiate in porto autoproducono elettricità (senza l'intervento di elettrificazione). Successivamente, è opportuno applicare i valori dei costi esterni delle emissioni a tali dati. Questo permette di valutare in modo accurato l'impatto ambientale e i costi associati all'autoproduzione di elettricità da parte delle navi prima dell'intervento di elettrificazione, per i dati sulle esternalità della rete elettrica nazionale ci si riferirà ad opportune tabelle.

Data la possibilità per le navi di utilizzare diversi tipi di combustibile, è opportuno ipotizzare il combustibile più conveniente disponibile in porto (il tenore di zolfo del combustibile petrolifero deve rispettare limite dello 0,1%, ai sensi della normativa vigente).

4 *Alternative ai combustibili fossili nella propulsione navale ed effetti inquinanti*

Vediamo in questo capitolo i possibili combustibili per la decarbonizzazione del trasporto navale e nella prospettiva della sua elettrificazione. Sono diverse, nel mondo, le sperimentazioni di traghetti basati sulla propulsione elettrica su distanze brevi, con chiari vantaggi in termini di abbattimento delle emissioni inquinanti e climalteranti. [5]

Al momento esistono soluzioni più o meno collaudate per l'abbattimento delle emissioni inquinanti e la decarbonizzazione del trasporto marittimo:

> **Cold ironing:** soluzione disponibile e tecnologicamente matura, consente la riduzione delle emissioni navali in porto grazie alla connessione alla rete elettrica su terraferma. Le emissioni complessive in porto sono nulle se si alimenta il cold ironing da fonti rinnovabili. Questo intervento sarà oggetto del presente studio e quindi verrà trattato in un capitolo a parte.

> **Gas Naturale Liquefatto (GNL):** i motori GNL si basano su una tecnologia provata e disponibile. La sostituzione dei combustibili tradizionali con il GNL mitigherebbe buona parte delle emissioni sia durante le soste in porto che durante la navigazione.

Le emissioni residue di zolfo, ossidi di azoto, e particolato risultano decisamente ridotte, mentre le emissioni di CO₂ risultano ridotte in modo insufficiente, si pensi che la riduzione massima teorica dei gas serra dall'utilizzo di gas naturale liquefatto (GNL) nel trasporto marittimo è solo del 20% rispetto all'olio combustibile pesante.

La logistica del GNL è inoltre piuttosto articolata, dato che il combustibile richiede serbatoi criogenici e di maggiori dimensioni rispetto ai serbatoi tradizionali, tali motori dovrebbero garantire, oltre a basse emissioni inquinanti (difficile per NO_x), anche perdite di metano contenute (meno del 2% lungo il ciclo di vita).

Il metano è infatti un potente gas serra e le minori emissioni di CO₂ nella combustione rischiano di essere parzialmente compensate dalle emissioni di metano incombusto.

> **Batterie e completa elettrificazione dei traghetti:** l'uso delle batterie per alimentare i motori elettrici delle navi è ancora agli inizi, ma i progressi della chimica e della tecnologia potrebbero portare a un rapido sviluppo all'uso di batterie nel settore marittimo. Diversi traghetti elettrici sono già operativi in tutto il mondo, ma l'evidenza attuale è che le navi puramente elettriche sono economicamente sostenibili solo per i viaggi a breve distanza viste le enormi potenze in gioco. Tuttavia, la ricerca sta procedendo trascinata dalla transizione elettrica del settore automobilistico e i progressi tecnologici potrebbero rendere più ampio il perimetro di applicazione in futuro.

> **Idrogeno:** l'idrogeno rappresenta un combustibile molto promettente perché non produce emissioni inquinanti al momento dell'utilizzo. Tema centrale, tuttavia, quello della sua produzione: la maggior parte dell'idrogeno è oggi prodotto da combustibili fossili attraverso un processo industriale intensivo.

L'obiettivo per il futuro deve essere quello di incrementare la sola produzione di idrogeno "verde", ovvero ottenuto mediante elettrolizzatori alimentati con le rinnovabili.

Infine, la densità energetica dell'idrogeno gassoso è relativamente bassa e il combustibile deve

essere liquefatto e immagazzinato sotto pressione, con conseguenti complessità nel trasporto e stoccaggio.

> **Ammoniaca:** l'ammoniaca è uno dei combustibili a basse emissioni più promettenti. Le emissioni di gas serra sono limitate agli ossidi di azoto che potrebbero essere eliminati installando sistemi catalitici. L'ammoniaca ha molteplici vantaggi, tra cui il fatto che può essere utilizzata in un motore a combustione interna e, a differenza dell'idrogeno, può essere stoccata a temperatura ambiente. L'aspetto maggiormente negativo riguarda la tossicità del combustibile che quindi richiede una gestione attenta. La tecnologia per la produzione di ammoniaca è disponibile e diffusa e i primi motori per il suo utilizzo dovrebbero essere commercialmente disponibili tra qualche anno.

	Maturità Tecnologica per uso marittimo	Riduzione inquinamento atmosferico in porto	Riduzione inquinamento acustico in porto	Riduzione inquinamento atmosferico in navigazione	Riduzione inquinamento acustico in navigazione
Cold ironing	Alto	Alto	Alto	NA	NA
Gas Naturale Liquefatto	Alto	Basso	Basso	Basso	Basso
Batterie e completa elettrificazione imbarcazioni	Basso	Alto	Alto	Alto	Alto
Idrogeno	Basso	Alto	Alto	Alto	Alto
Ammoniaca	Basso	Alto	Basso	Alto	Basso

Legenda:  Alto,  Medio,  Basso, NA: Non Applicabile

Figura 4-1: Confronto tra le tecnologie disponibili per la decarbonizzazione del trasporto marittimo - fonte: (Enelx, porti verdi: la rotta per uno sviluppo sostenibile)

4.1 Generalità sugli inquinanti

Inquinanti atmosferici

Le navi ormeggiate nei porti possono essere una fonte significativa di inquinanti atmosferici. Sebbene possano sembrare immobili durante questo periodo, le attività a bordo e i sistemi di propulsione ausiliaria continuano a funzionare, emettendo una serie di inquinanti. In questo capitolo, esamineremo gli inquinanti comuni prodotti dalle navi quando sono all'ormeggio

Gas Serra: I gas serra rappresentano una delle questioni ambientali più rilevanti dell'era moderna. Hanno la capacità di intrappolare il calore solare nella nostra atmosfera. Questi gas consentono al pianeta di mantenere una temperatura abitabile, ma quando le loro concentrazioni aumentano, possono causare un aumento della temperatura globale, noto come effetto serra.

Il funzionamento dell'effetto serra è un processo naturale ed essenziale per la vita sulla Terra. Ecco come funziona:

1. **Radiazione Solare:** La luce solare raggiunge la Terra, scaldandola.
2. **Rimbalzo e Assorbimento:** Parte di questa energia è riflessa nello spazio, ma la maggior parte viene assorbita dalla superficie terrestre.
3. **Ri-emissione di Calore:** La superficie terrestre emette calore sotto forma di radiazione infrarossa.
4. **Trappola Termica:** I gas serra presenti nell'atmosfera, come il biossido di carbonio (CO₂), il metano (CH₄) e il vapore acqueo (H₂O), catturano parte di questa radiazione infrarossa, impedendo che l'energia termica si disperda completamente nello spazio.
5. **Aumento della Temperatura:** Questo processo crea un aumento delle temperature globali, rendendo la Terra abitabile per gli esseri viventi.

I principali gas serra presenti nell'atmosfera includono:

- **Biossido di carbonio (CO₂):** Il più comune e ben noto gas serra, principalmente prodotto dalla combustione di combustibili fossili, una delle caratteristiche chiave della CO₂ è la sua permanenza nell'atmosfera, questa può persistere nell'atmosfera per un periodo di tempo molto lungo, contribuendo così al cambiamento climatico anche per molte generazioni future.

- **Metano (CH₄):** Emesso da processi naturali e attività umane, come l'agricoltura e l'allevamento di bestiame.
- **Vapore acqueo (H₂O):** Il gas serra più abbondante, ma le sue concentrazioni sono influenzate principalmente dalle condizioni atmosferiche correnti, come temperatura e umidità. Inoltre, il vapore acqueo si condensa e precipita sotto forma di pioggia o neve in un breve periodo di tempo, il che significa che le sue concentrazioni nell'atmosfera cambiano rapidamente.
- **Ossido di azoto (N₂O):** Emesso principalmente da processi agricoli e industriali, il suo potenziale di riscaldamento globale, che è di circa 298 volte maggiore rispetto al CO₂ su un periodo di 100 anni.
- **Gas fluorurati:** Questi includono l'acido solforico e altri gas utilizzati in applicazioni industriali e commerciali.

In questo lavoro considereremo principalmente le emissioni di CO₂ e N₂O in quanto le più abbondanti e longeve in atmosfera.

Ossidi di Azoto (NO_x): Gli ossidi di azoto (NO_x) sono una famiglia di composti chimici costituiti da azoto e ossigeno, tra cui il biossido di azoto (NO₂) e il monossido di azoto (NO). Questi inquinanti contribuiscono alla formazione dello smog, possono reagire con l'umidità presente nell'aria e formare degli acidi che danneggiano suolo e acqua oltre ad avere impatti negativi sulla salute umana.

Ossidi di Zolfo (SO_x): Le navi utilizzano spesso combustibili pesanti che contengono una quantità significativa di zolfo. Durante l'ormeggio, l'emissione di ossidi di zolfo (SO_x) può danneggiare l'aria e l'ambiente circostante, come gli NO_x reagendo possono contribuire alla formazione di nubi acidificate che possono ricoprire enormi distanze prima di precipitare sotto forma di piogge, causando problemi di salute e danni agli ecosistemi.

Monossido di Carbonio (CO): Il monossido di carbonio (CO) è un gas incolore e inodore che si forma durante la combustione incompleta di combustibili fossili. È una sostanza altamente tossica, poiché ha una forte affinità per l'emoglobina nel sangue, interferendo con il trasporto di ossigeno nei tessuti del corpo umano, l'avvelenamento da monossido di carbonio si riscontra generalmente solo in ambienti chiusi.

Composti Organici Volatili (VOCs): I composti organici volatili (VOCs) includono un ampio spettro di sostanze con pressione di vapore pari o superiore a 0,01 kPa alla temperatura di 20 °C, delle quali la più nota a causa della sua cancerogenicità è il benzene. Altri idrocarburi ad elevata tossicità sono responsabili anche del riscaldamento globale.

Particolato: noto anche come PM (Particulate Matter), è una componente significativa delle emissioni gassose delle navi durante il periodo di ormeggio nei porti.

Il particolato PM10 si riferisce a particelle sospese nell'aria con un diametro di 10 micron o meno, è una delle principali preoccupazioni per la salute umana in ambienti inquinati, in particolare: Una esposizione prolungata può ridurre la funzionalità polmonare, aumentare il rischio di malattie cardiache, ictus e problemi vascolari, poiché le particelle possono entrare nel flusso sanguigno e causare infiammazione sistemica.

Il particolato PM2.5 rappresenta una categoria di particelle sospese nell'aria con un diametro di 2.5 micron o meno. Possono diversi problemi, tra cui problemi respiratori in quanto, queste particelle sono così piccole che possono penetrare profondamente nei polmoni umani quando vengono inalate causando tosse, bronchite, aggravamento dell'asma e riduzione della funzione polmonare, aumento del rischio di malattie cardiache, ictus, aritmie e infarto del miocardio, poiché queste particelle possono entrare nel flusso sanguigno e causare infiammazione sistemica, mortalità prematura ed infine si suggerisce che possano avere ripercussioni sulla salute mentale.

Rumore e vibrazioni

Durante l'ormeggio i grandi motori ausiliari che servono a movimentare gli alternatori, seppur posizionati internamente alla nave generano rumore e vibrazioni che si propagano all'esterno tramite la struttura della nave. Essendo rumore a bassa frequenza, esso si propaga per lunghe distanze ed è poco schermato dalle mura delle abitazioni, questo è un problema comune nei dintorni dei porti cittadini, soprattutto nelle ore notturne.

Nel caso del porto di Porto Torres negli ultimi anni si è mitigato parzialmente il problema dislocando le banchine delle grandi navi rispetto agli attracchi storici.

5 *Il porto di Porto Torres: caso studio*

Lo studio in oggetto si preme di valutare i vantaggi in termini ambientale ed economici ottenuti da interventi di efficientamento energetico sul sistema portuale; tuttavia, non prenderà in considerazione i possibili interventi in modo omnicomprensivo data l'ampia varietà degli stessi, ma si concentrerà nella valutazione degli interventi di elettrificazione delle banchine e l'installazione di un impianto di produzione di energia da fonti rinnovabili nell'area portuale.

Prendiamo in esame il Porto di Porto Torres (SS), che è il secondo scalo della Sardegna, in ordine di passeggeri, e primo per quantità di merci.

Per un corretto dimensionamento degli impianti è necessario innanzitutto analizzare il livello di traffico e quindi il livello di richiesta energetica in banchina, osservando i dati riferiti all'anno 2019 presenti nell'allegato C dell'elaborato [8], notiamo come le presenze siano sostanzialmente suddivise fra navi traghetto e navi da carico con una quota ridotta di navi da crociera. La presenza dei traghetti (Ro-Ro) segna un minimo di sosta media di 2,6 ore rilevate nel mese di agosto ed un massimo di 7,5 ore nel mese di febbraio; la media annuale si attesta a 5,4 ore.

Il numero di attracchi durante i mesi presi in considerazione è molto alto, raggiungendo il valore di 424. Questo dato ci offre un'idea della potenziale riduzione dell'inquinamento acustico e atmosferico che potrebbe essere ottenuta tramite l'elettrificazione dei moli. In particolare, per quanto riguarda i traghetti, si nota che i moli più frequentati sono Asi 1 cent, Asi 2 cent e Segni Dogana Esterno.

Passando all'analisi delle navi da carico, si osserva che il tempo medio di permanenza durante i mesi presi in considerazione è di 50,3 ore. I moli più utilizzati sono il molo 11, Asi 1 Nord e il molo 16. Si nota inoltre che il molo Asi Gas viene utilizzato principalmente per le navi gasiere. Per quanto riguarda le crociere, non si registra un elevato numero di presenze, con un tempo medio di permanenza di 11,4 ore.

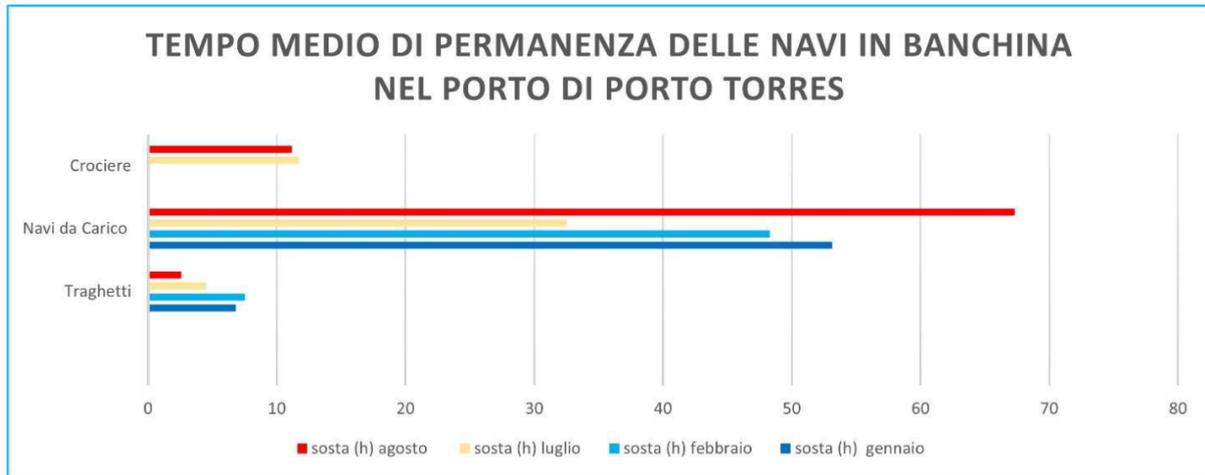


Figura 5-1; Figura 4 1; grafico relativo al tempo medio mensile degli ormeggi in banchina - Porto di Porto Torres (adspmaredisardegna, 3 All. C [8])

Per fare una stima sulle potenze da installare nei vari moli e dei consumi in termini elettrici che si avranno è necessario analizzare i dati forniti dall' AdSP del mare di Sardegna che riportano per ogni nave le permanenze in termini orari nei mesi considerati e che verranno poi normalizzati all'intero anno. L'anno a cui sono riferiti i dati è il 2019, in questo modo si ha una fotografia delle attività non influenzate dal Covid e che si prospetta coincida con quella futura.

Non essendo possibile stabilire esattamente le curve di carico energetico durante l'ormeggio per ogni singola nave in quanto abbastanza variabili in base al carico e allo specifico momento temporale, sono stati individuati in letteratura i fabbisogni energetici medi per tipologia di imbarcazione e scalati in base alla dimensione di quest'ultima.

Per stabilire la potenza di picco di ciascun punto di connessione si è proceduto come in letteratura ovvero considerando il caso in cui nello stesso molo ci siano collegate contemporaneamente le due imbarcazioni con l'assorbimento maggiore tra quelle che frequentano quel determinato molo. Successivamente i dati riferiti ai due mesi invernali ed ai due mesi estivi sono stati estesi all'intero anno ed è stato possibile il calcolo della stima di energia consumata mese per mese.

Questo passaggio ha creato inevitabilmente delle approssimazioni che però in questa fase dello studio sono accettabili in quanto i risultati verranno elaborati sia in termini assoluti che soprattutto in termini specifici in modo da valutare l'efficacia degli interventi.

Considerando un tempo tecnico di allaccio e scollegamento dalla rete rispettivamente di circa mezz'ora ciascuno, verranno escluse le soste in banchina con tempi medi inferiori o uguali alla singola ora, in quanto non si avrebbe alcun beneficio, si può logicamente pensare che la convenienza del sistema sia direttamente dipendente dal numero di ore consecutive nelle quali una nave rimane connessa in banchina, ci si aspetta che nel futuro con la standardizzazione e l'ottimizzazione delle connessioni si riesca a diminuire queste tempistiche.

Di seguito troviamo riportate le tabelle rielaborate con i dati forniti dall'Autorità portuale del mare di Sardegna sulla permanenza in porto delle imbarcazioni nel porto di Porto Torres.

Tabella 3: Riferimenti orari attracchi Porto Torres, mese di Gennaio

Gennaio				banchine		numero		ore
nome nave	categoria	tipologia	lunghezza	frequentate	banchina	attracchi	permanenza	mensili
			a	e	preferita	mensili	a media	i
Gaz		Ro-Ro		Alti				
Interceptor	Ferry	Passeggeri	165	Fondali	Alti Fondali	4	2,8	11,2
Trans		General						
Exeter	Cargo	Cargo	105	Asi 1 Nord	Asi 1 Nord	1	32,5	32,5
Alberta		General						
Amoretti	Cargo	Cargo	86	Asi 1 Nord	Asi 1 Nord	1	35,5	35,5
		General						
Arina	Cargo	Cargo	81	Asi 1 Nord	Asi 1 Nord	1	16	16
		General						
Avalon	Cargo	Cargo	88	Asi 1 Nord	Asi 1 Nord	1	21,5	21,5
		General						
Waterway	Cargo	Cargo	90	Asi 1 Nord	Asi 1 Nord	1	103	103
				Asi 2 Cent				
Edzard		Ro-Ro		- Ponente	Asi 2 Cent -			
Cirksena	Ferry	Passeggeri	214	2	Ponente 2	6	11,3	67,8
		General						
Scheldedijk	Cargo	Cargo	120	Asi 2 Nord	Asi 2 Nord	1	39,5	39,5
Sua	Cargo	Gasiera		Asi Gas	Asi Gas	1	15	15
Rhourd el								
Hamra	Cargo	Gasiera		Asi Gas	Asi Gas	1	17,5	17,5
				Asi 1 Cent				
				- Asi 2				
Rhourd el		Ro-Ro		Cent - Asi				
Faras	Ferry	Passeggeri	254	3	Asi1 Cent	11	1,3	14,3
				Asi 1 Cent				
				- Asi 1 Sud				
				- Asi 2				
Santa		Ro-Ro		Cent - Asi				
Rosalia	Ferry	Passeggeri	196	3	Asi1 Cent	11	11,8	129,8
		Ro-Ro		Asi 1 Cent				
SYN Zosma	Ferry	Passeggeri	254	- Asi 1 Sud	Asi1 Sud	3	1,5	4,5
				Banchina				
Kalliste	Cargo	Gasiera		11	Banchina 11	1	43,5	43,5
Cruise		Chimichier		Banchina				
Barcelona	Cargo	a	118	12	Banchina 12	1	17,5	17,5
Cruise		Chimichier		Banchina				
Roma	Cargo	a	176	16	Banchina 16	2	44,8	89,6
Eurocargo				E.P. Fiume	E.P. Fiume			
Valencia	Cargo	Bulk	226	Santo	Santo	1	280,5	280,5
Janas	Cargo	Gasiera		Ponente 2	Ponente 2	1	24	24
				Asi 1 Cent				
				- Asi 2				
Mega		Ro-Ro		Cent -				
smeralda	Ferry	Passeggeri	214	Ponente 2	Ponente 2	13	11,2	145,6

Nuraghes	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	214	Asi 2 Cent - Ponente	Ponente 2	9	11,3	101,7
Sharden	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	171	Asi 1 Nord - Segni Dogana	Segni Dogana	3	4,8	14,4
Mega Express	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	174	Esterno Segni Dogana	Esterno Segni Dogana	2	2,8	5,6
Mega Express Five	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	178	Esterno Dogana	Esterno Dogana	1	5	5

Tabella 4: Riferimenti orari attracchi Porto Torres, mese di febbraio

Febbraio									
nome nave	categoria	tipologia	lunghezza	banchine frequentate	banchina preferita	numero attracchi mensili	permanenza media	ore totali mensili	
Lipari M Bianca	Ferry	Ro-Ro Passeggeri General	165	Alti Fondali	Alti Fondali	2	2,5	5	
Amoretti	Cargo	Cargo	178	Asi 1 Cent Asi 1 Cent - Asi 2 Cent - Asi 3 -	Asi 1 Cent	1	10	10	
Aquarius	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	254	Ponente 2 Asi 1 Cent - Asi 2 Cent -	Asi 1 Cent	14	1	14	
Ayr	Ferry	Ro-Ro Passeggeri General	196	Asi 3	Asi 1 Cent	12	7,2	86,4	
Nacc Capri	Cargo	Cargo General	90	Asi 1 Nord	Asi 1 Nord	1	32,5	32,5	
Rix Flevo King	Cargo	Cargo General	110	Asi 1 Nord	Asi 1 Nord	1	52	52	
Arthyr	Cargo	Cargo	88	Asi 1 Nord	Asi 1 Nord	1	27	27	
Berga II	Cargo	Gasiera	103	Asi Gas	Asi Gas	1	20	20	
Rikke	Cargo	Gasiera		Asi Gas	Asi Gas	1	17	17	
Kalliste Cruise	Cargo	Chimichiera	80	Banchina 13	Banchina 13	2	26,8	53,6	
Barcelona Eurocargo	Cargo	Chimichiera	176	Banchina 16	Banchina 16	2	33,3	66,6	
Valencia	Cargo	Bulk	229	E.P. Fiume Santo	E.P. Fiume Santo	1	216	216	
Janas	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	196	Asi 1 Cent - Asi 2 Cent - Ponente 2	Ponente 2	14	11,9	166,6	
Athara	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	114	Asi 2 Cent - Asi 3 - Ponente 2	Ponente 2	13	11,6	150,8	
Nuraghes	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	214	Ponente 2	Ponente 2	1	11	11	

Tabella 5: Riferimenti orari attracchi Porto Torres, mese di agosto

Luglio								
nome nave	categoria	tipologia	lunghezza	banchine frequentate	banchina preferita	numero attracchi mensili	permanenza media	ore totali mensili
SYN Zosma	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	165	Alti Fondali Alti Fondali - Segni	Alti Fondali	4	2,1	8,4
Bianca Amoretti	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	178	Dogana Esterno	Alti Fondali	4	0,6	2,4
Alberta Amoretti	Cargo	General	87	Asi 1 Cent Asi 1 Cent - Asi 1 Nord - Asi 1 Sud - Asi 2 Cent -	Asi 1 Cent	1	33	33
Nestor	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	254	Asi 3 Asi 1 Cent - Asi 1 Nord - Asi 1 Sud -	Asi 1 Cent	21	1,2	25,2
Pex	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	254	Asi 2 Cent	Asi 1 Cent	21	1,1	23,1
Riga	Cargo	General Cargo	91	Asi 1 Nord	Asi 1 Nord	1	25	25
Gures Mein Schiff Herz	Cargo Cruise	Cargo Crociera	96 264	Asi 1 Nord Asi 2 Cent Asi 1 Cent - Asi 1 Sud - Asi 2 Cent - Asi 2 Sud	Asi 1 Nord Asi 2 Cent	1 2	33 11	33 22
Costa Neo Riviera	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	196	Asi 3	Asi 2 Cent	16	4,9	78,4
Kalliste Mega Express	Cargo	Cargo	118	Asi 2 Nord	Asi 2 Nord	1	21,5	21,5
Four Cruise Roma	Cargo	Gasiera Chimichiera	176	Banchina 11	Banchina 11	1	26	26
Cruise Barcelona Eurocargo	Cargo	Chimichiera	176	Banchina 16	Banchina 16	1	38	38
Valencia	Cruise	Crociera	216	Banchina 16 Asi 2 Cent - Ponente 1	Banchina 16 Ponente 1	2 3	51 12,3	102 36,9
Rhapsody Mega	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	214	Asi 3 - Ponente 2	Ponente 2	10	10,8	108
Smeralda Mega	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	214	Ponente 2	Ponente 2	15	12,6	189
Andrea	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	196	Ponente 2	Ponente 2	7	13,5	94,5
Mega Express	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	170	Asi 1 Cent - Ponente 1 - Segni	Segni Dogana Esterno	18	8,4	151,2

Bithia	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	168	Dogana Esterno Asi 2 Cent - Segni Dogana Esterno	Segni Dogana Esterno	5	0,9	4,5
Nuraghes	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	171	Segni Dogana Esterno	Segni Dogana Esterno	11	1,2	13,2
Janas Mega express	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	174	Segni Dogana Esterno	Segni Dogana Esterno	5	0,6	3
Two	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	176	Segni Dogana Esterno	Segni Dogana Esterno	2	0,8	1,6

Tabella 6: Riferimenti orari attracchi Porto Torres, mese di agosto

Agosto								
nome nave	categoria	tipologia	lunghezza	banchine frequentate	banchina preferita	numero attracchi mensili	permanenza media	ore totali mensili
Alberta		Ro-Ro						
Amoretti	Ferry	Passeggeri	165	Alti fondali	Alti fondali	4	2,5	10
Bianca		Ro-Ro						
Amoretti	Ferry	Passeggeri	254	Asi 1 Cent	Asi 1 Cent	22	1,5	33
Rhourdel		Ro-Ro						
Hamra	Ferry	Passeggeri	214	Asi 1 Nord	Asi 1 Nord	23	1,3	29,9
Nestor	Cruise	Crociera	264	Asi 2 Nord	Asi 2 Cent	3	11,3	33,9
Alicudi M		Ro-Ro		Asi 1 Cent -				
Mein Schiff	Ferry	Passeggeri	254	Asi 2 Cent	Asi 2 Cent	23	1,4	32,2
Herz		Ro-Ro		Asi 1 Cent -				
Costa neo	Ferry	Passeggeri	196	Asi 2 Cent	Asi 2 Cent	6	4,9	29,4
Riviera	Cargo	Gasiera		Asi Gas	Asi Gas	1	14	14
Kalliste		Chimichiera			Banchina			
Mega	Cargo	a	176	Banchina 16	16	1	55	55
Express		Chimichiera			Banchina			
Four	Cargo	a	176	Banchina 16	16	1	31	31
Cruise		Chimichiera			Banchina			
Barcelona	Cargo	a	176	Banchina 16	16	1	35,5	35,5
Cruise		General		E.P. Fiume	E.P. Fiume			
Roma	Cargo	Cargo	87	Santo	Santo	1	201	201
Eurocargo								
Valencia	Cruise	Crociera	216	Ponente 1	Ponente 1	3	11	33
Rhapsody	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	214	Ponente 2	Ponente 2	23	5,8	133,4
Nuraghes	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	178	Alti Fondali - Segni Dogana Esterno	Segni Dogana Esterno	5	1,3	6,5

Bithia	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	170	Asi 1 Cent - Ponente 1 - Segni Dogana Esterno	Segni Dogana Esterno	18	8,5	153
Mega Smeralda	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	168	Asi 2 Cent - Segni Dogana Esterno	Segni Dogana Esterno	5	1	5
Mega Andrea	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	171	Segni Dogana Esterno	Segni Dogana Esterno	11	0,8	8,8
Mega Express	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	174	Ponente 1 - Segni Dogana Esterno	Segni Dogana Esterno	15	0,8	12
Mega Express Five	Ferry	Ro-Ro Passeggeri	178	Segni Dogana Esterno	Segni Dogana Esterno	2	1	2

5.1.1 Software utilizzato

Per la simulazione e successiva analisi di sensibilità è stato utilizzato il software Homer Pro che si presta bene alla simulazione del sistema portuale trattandolo come una smart grid connessa alla rete nazionale, e permette di valutarne i parametri economici e di eseguire un'analisi di sensibilità.

In particolare semplifica il confronto di migliaia di possibilità, esaminando tutte le potenziali combinazioni di tipi di sistema e poi ordinare i sistemi in base alla variabile di ottimizzazione scelta. Questo consente di vedere l'impatto di variabili esterne che non possiamo controllare, come la velocità del vento, la radiazione solare e costi di carburante ed energia per capire come cambia il sistema ottimale con queste variabili.

Per la simulazione sono stati caricati i dati di fabbisogno energetico con risoluzione giornaliera, con una apposita funzione si è reso random il carico a livello orario all'interno della giornata tenendo il complessivo richiesto invariato, in modo da simulare nel miglior modo possibile la realtà.

Dopodiché per la simulazione dei generatori ausiliari è stato definito un motore diesel con caratteristiche di consumo specifico ed emissioni analoghe, in questo caso non è stato previsto un costo di acquisto in quanto i generatori sono già presenti su qualsiasi nave, si è tenuto conto di eventuali costi di manutenzione e costi di esercizio tramite una maggiorazione del 20% del costo del carburante; è stata inoltre utilizzata la funzione auto-size che non ci obbliga a impostare il valore

della taglia pari al massimo richiesto, così facendo non si rischia di uscire dal campo di funzionamento falsando i risultati.

Per simulare l'alimentazione in banchina è stata utilizzata la rete elettrica considerando che di fatto lo è, il costo dell'installazione è stato impostato a 600 mila euro per MW installato, per un totale di investimento di 10.8 M€ e con vita utile di 25 anni, oltre i quali è stata prevista una manutenzione straordinaria di sostituzione convertitori ed altri interventi del caso.

Per l'impianto fotovoltaico è stato inserito un costo di installazione seguendo le tendenze attuali di 1100 €/kWh per un impianto di tipo industriale, la taglia è stata ottimizzata dalla simulazione a 0,54 MW.

5.1.2 Planimetria e dislocazione banchine

Da una analisi fornita dall'AdSP del porto di Porto Torres, si è visto come la struttura del porto permetterebbe di attrezzare le 4 banchine che sono:

- Molo ASI
- Moli ponente
- Molo Dogana Segni
- Molo Alti Fondali

La rete elettrica MT di e-distribuzione si dimostra appena sufficiente e molto frammentata per alimentare i vari moli con il rischio di creare cadute di tensione e di armoniche alle altre utenze esistenti, perciò si è proceduto ad individuare la cabina in Alta Tensione di competenza di Terna più vicina con sbarre utilizzabili per l'alimentazione di una cabina di trasformazione che potrà essere posizionata nell'area del porto industriale, questo comporterebbe la necessità dell'utilizzo di un cavo sottomarino con tutte le dovute accortezze e inevitabili complicazioni. In ogni caso la disponibilità di potenza è affermativa e non essendo il tema centrale di questo studio si può procedere l'analisi Costi-Benefici dell'intervento di elettrificazione banchine.

Nella tavola di seguito vediamo la possibile configurazione del cavidotto 15kV che dovrà percorrere il molo Carbone (quello che protegge il porto) per circa 4000 metri fino al primo internodo da dove diparte un primo cavo sottomarino che dovrà alimentare il molo ASI ed un secondo che alimenta i rimanenti tre moli, essendo inoltre non praticabile posare più cavi sottomarini per ogni tensione e frequenza si deduce che ogni molo alimentato da un solo cavo tripolare dovrà avere la propria centrale di conversione.

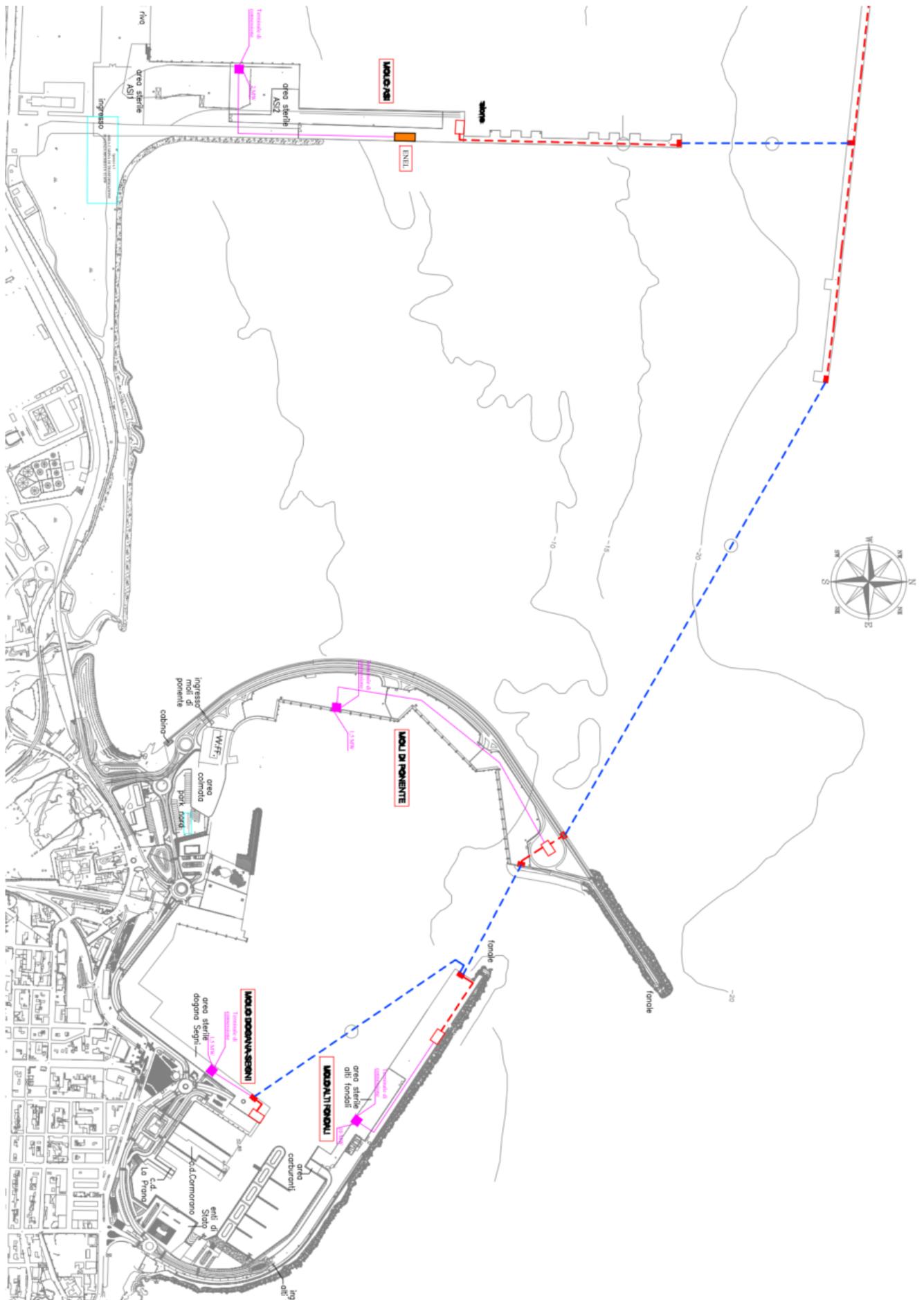


Figura 5-2; Planimetria distribuzione elettrica sottomarina Soluzione 3 [19]

5.1.3 Valutazione fabbisogni energetici ed emissioni per i motori ausiliari

Per stimare il consumo di combustibile derivante dai motori ausiliari durante l’ormeggio, essendo i dati di norma non forniti ed estremamente variabili anche per una stessa imbarcazione, sono stati presi dei dati derivanti da uno studio effettuato dal California Air Resources Board (ARB) che ne considerano una media. In tabella 5 sono riportati i valori di potenza nominali dei motori ausiliari per ciascun tipo di imbarcazione.

Tabella 7 : Auxiliary Engine Power ratios (ARB Survey)

Ship Type	Average Propulsion Engine (kW)	Average Auxiliary Engines				Auxiliary to Propulsion Ratio
		Number	Power Each (kW)	Total Power (kW)	Engine Speed	
Auto Carrier	10,700	2.9	983	2,850	Medium	0.266
Bulk Carrier	8,000	2.9	612	1,776	Medium	0.222
Container Ship	30,900	3.6	1,889	6,800	Medium	0.220
Cruise Ship ^a	39,600	4.7	2,340	11,000	Medium	0.278
General Cargo	9,300	2.9	612	1,776	Medium	0.191
RORO	11,000	2.9	983	2,850	Medium	0.259
Reefer	9,600	4.0	975	3,900	Medium	0.406
Tanker	9,400	2.7	735	1,985	Medium	0.211

^a Cruise ships typically use a different engine configuration known as diesel-electric. These vessels use large generator sets for both propulsion and ship-board electricity. The figures for cruise ships above are estimates taken from the Starcrest Vessel Boarding Program.

Come indicato anche in tabella, le navi da crociera non usano motori ausiliari ma tipicamente utilizzano la configurazione diesel-electric, cioè, con motori Diesel che alimentano un alternatore elettrico che a sua volta alimenta le utenze e i motori di propulsione elettrici; questa configurazione viene usata per aumentare il comfort perché riduce rumori e vibrazioni. Nel presente studio tali navi possono essere trattate allo stesso modo delle altre imbarcazioni utilizzando la frazione di potenza impiegata dai motori principali.

Sono stati successivamente applicati i fattori di carico dei motori ausiliari per ciascun tipo di imbarcazione per la fase di stazionamento definita nella tabella 6 come “Hotel”. La tabella è stata ricavata da uno studio effettuato da Starcrest per il porto di Los Angeles. [10]

Tabella 8 : Auxiliary Engine Load Factor Assumption (starcrest)

Ship-Type	Cruise	RSZ	Maneuver	Hotel
Auto Carrier	0.15	0.30	0.45	0.26
Bulk Carrier	0.17	0.27	0.45	0.10
Container Ship	0.13	0.25	0.48	0.19
Cruise Ship	0.80	0.80	0.80	0.64
General Cargo	0.17	0.27	0.45	0.22
Miscellaneous	0.17	0.27	0.45	0.22
OG Tug	0.17	0.27	0.45	0.22
RORO	0.15	0.30	0.45	0.26
Reefer	0.20	0.34	0.67	0.32
Tanker	0.24	0.28	0.33	0.26

I fattori di emissione dei vari inquinanti e dei consumi specifici per i motori ausiliari sono stati analizzati da **Entec** [11], si possono considerare costanti fino al 20% circa del carico. Al di sotto di tale soglia i fattori di emissione tendono ad aumentare al diminuire del carico. Questa tendenza è dovuta al fatto che i motori a ciclo diesel sono meno efficienti ai bassi carichi e il consumo specifico tende ad aumentare. Pertanto, mentre le emissioni di massa (grammi per ora) diminuiscono con carichi bassi, la potenza del motore tende a diminuire più rapidamente, aumentando così il fattore di emissione (grammi per energia del motore prodotta) al diminuire del carico; nel caso dei motori ausiliari non è necessario un fattore di aggiustamento per bassi carichi, poiché generalmente essi vengono utilizzati in banchi. Ai bassi carichi, uno o più motori vengono spenti, consentendo ai restanti motori di funzionare a un livello più efficiente.

Di seguito in tabella possiamo vedere le emissioni in base a tipologia di carburante e tenore di zolfo; in questa abbiamo RO Residual Oil, MDO Marine Diesel Oil, MGO Marine Gas Oil.

Tabella 9: Auxiliary Engine Emission Factors, g/kWh fonte: (Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories, U.S. Environmental Protection Agency)

Fuel Type	Sulfur	Emission Factors (g/kWh)							
		NOx	PM ₁₀	PM _{2.5}	HC	CO	SOx	CO ₂	BSFC
RO	2.70%	14.7	1.44	1.32	0.40	1.10	11.98	722.54	227
MDO	1.00%	13.9	0.49	0.45	0.40	1.10	4.24	690.71	217
MGO	0.50%	13.9	0.32	0.29	0.40	1.10	2.12	690.71	217
MGO	0.10%	13.9	0.18	0.17	0.40	1.10	0.42	690.71	217

Per quanto riguarda i tenori massimi di zolfo la Direttiva 2012/33/UE ha apportato ulteriori modifiche alla Direttiva 1999/32/CE e ha allineato la stessa alle norme emanate dall'Organizzazione Marittima Internazionale (IMO) circa gli standard relativi alla composizione dei combustibili e circa i metodi di riduzione delle emissioni inquinanti; in particolare ha stabilito che gli Stati membri adottino tutte le misure necessarie affinché: nelle rispettive acque territoriali,

nelle zone economiche esclusive e nelle zone di controllo dell'inquinamento che rientrano nelle zone di controllo delle emissioni di SOx, non siano utilizzati combustibili per uso marittimo con tenore di zolfo superiore in massa al 1% fino al 31 dicembre 2014 e allo 0,1%, a partire dal 1° gennaio 2015; nelle rispettive acque territoriali e zone economiche esclusive, non siano utilizzati combustibili per uso marittimo con tenore di zolfo superiore al 3,5% in massa a partire dal 18 giugno 2014, e allo 0,5%, a partire dal 1° gennaio 2020.

In Italia il tenore massimo di zolfo nei combustibili per uso marittimo è stabilito dall'art. 295 del decreto che vieta:

- nelle acque territoriali, nelle zone economiche esclusive e nelle zone di protezione ecologica, appartenenti all'Italia, l'utilizzo di combustibili marini con un tenore di zolfo superiore al 3,50% in massa dal 18 giugno 2014, e superiore allo 0,50% in massa, dal 1° gennaio 2020;
- l'immissione sul mercato di gasoli marini con tenore di zolfo superiore allo 0,10% in massa
- l'immissione sul mercato di oli diesel marini con tenore di zolfo superiore all'1,50% in massa;
- l'utilizzo, nelle acque territoriali, nelle zone economiche esclusive e nelle zone di protezione ecologica, appartenenti all'Italia, di combustibili per uso marittimo con un tenore di zolfo superiore all'1,50% in massa per le navi passeggeri battenti bandiera italiana, le quali effettuano un servizio di linea proveniente da o diretto ad un porto di un Paese dell'Unione europea e per le navi non battenti bandiera italiana che si trovano in un porto italiano;
- l'utilizzo di combustibili per uso marittimo, diversi dal gasolio marino e dall'olio diesel marino, con un tenore di zolfo superiore allo 0,10% in massa su navi adibite alla navigazione interna;
- l'utilizzo di combustibili per uso marittimo con un tenore di zolfo superiore allo 0,10% in massa su navi all'ormeggio, questa condizione non si applica alle navi di cui si prevede; a) secondo orari resi noti al pubblico, un ormeggio di durata inferiore alle due ore; b) alle navi all'ormeggio a motori spenti e collegate ad un sistema di alimentazione elettrica ubicato sulla costa.

Oltre ai limiti emissivi, il decreto prevede la possibilità di adottare tecnologie di abbattimento delle emissioni basati su sistemi a circuito chiuso in alternativa a combustibili a basso tenore di zolfo, e l'obbligo di segnalazione relativa alla riduzione della disponibilità dei combustibili a norma da parte dei fornitori e dei depositi fiscali.

Vediamo più nel dettaglio in cosa si differenziano il marine diesel oil (MDO) e il marine gas oil (MGO), il primo indica i carburanti marini costituiti da varie miscele di distillati noti anche come gasolio marino e da olio combustibile pesante. A differenza dei carburanti diesel utilizzati su terra per autoveicoli e camion, il gasolio marino non è una frazione distillata pura. La composizione del gasolio marino può variare grazie a processi diretti di miscelazione nella raffineria o mescolando carburanti marini già preparati. Il diesel marino è simile al gasolio, ma presenta una densità maggiore. A differenza dall'olio combustibile pesante (HFO), il diesel marino non necessita di essere riscaldato durante il procedimento di rifornimento.

Il gasolio marino (MGO) invece si riferisce ai carburanti marini costituiti esclusivamente da distillati.

I distillati comprendono tutte le componenti del petrolio greggio che evaporano durante il processo di distillazione frazionata e vengono quindi condensate dalla fase gassosa in frazioni

liquide. Il gasolio marino è di solito una miscela di vari distillati e, sebbene simile al gasolio, ha una densità maggiore, circa 850 kg/m³, quello con tenore di zolfo superiore allo 0,1% e con regime fiscale agevolato spesso è colorato di rosso in modo da prevenirne l'uso improprio nella navigazione interna o nei porti e differenziarlo da quello a basso contenuto di zolfo.[15]

Rispetto ai carburanti marini con una proporzione più o meno grande di olio combustibile pesante, le emissioni del MGO contengono decisamente meno particolato e fuliggine. Poiché è possibile mantenere a livelli molto bassi il contenuto di zolfo nel combustibile distillato e le raffinerie stanno ottimizzando i loro processi per ridurre la produzione di carburante residuo (olio combustibile pesante), nonostante la diminuzione dei prezzi dell'olio combustibile pesante, gli esperti del settore prevedono che il gasolio per uso marittimo sarà utilizzato più frequentemente in futuro. Di conseguenza, la tecnologia dei motori marini sarà destinata a adattarsi a questi nuovi trend. [12]

Considerando quanto riportato sopra il combustibile che viene preso in considerazione nello scenario alternativo è il Marine Gas Oil con tenore di zolfo inferiore al 0,1 % in massa.

I consumi specifici sono sempre stati desunti dagli studi di Entec e sono riportati di seguito;

Tipo di motore	Combustibile	Consumo specifico (g/kWh)
Medium-speed diesel	<i>Bunker Fuel Oil (BFO)</i>	227
	<i>Marine Gas Oil (MGO)</i>	217

Figura 5-3; Consumi specifici motori ausiliari (ENTEC)

Sono stati elaborati i dati dei fabbisogni in kWh per ciascuna banchina del porto di Porto Torres attraverso le tabelle orarie, le taglie dei motori ausiliari dalla tabella 7 in base alla tipologia di nave e i relativi fattori di utilizzo Elf (engine load factor) della 8, successivamente con l'applicazione dei consumi specifici e i fattori di emissione specifici figura 5.3 e tabella 9 sono stati calcolati quelli reali.

L'equazione utilizzata per il calcolo del fabbisogno in kWh è la seguente:

$$E_i = P_{nom} * Elf * t$$

Il corrispettivo fabbisogno in kg di combustibile, nel caso in esame Marine Gas Oil (MGO), si trova moltiplicando l'energia richiesta per il consumo specifico, nella seguente tabella sono stati riportati i dati complessivi di ciascuna banchina.

Tabella 10: Fabbisogni energetici in MWh e tonnellate di carburante suddivisi per banchina.

	Gennaio		Febbraio		Luglio		Agosto	
	MWh	tonn MGO	MWh	tonn MGO	MWh	tonn MGO	MWh	tonn MGO
Alti Fondali	8,30	1,80	3,71	0,80	8,00	1,74	7,41	1,61
Asi 1 Nord	269,38	58,46	144,06	31,26	74,94	16,26	22,16	4,81
Asi1 Cent	106,78	23,17	87,32	18,95	35,79	7,77	24,45	5,31
Asi 2 Cent					212,97	46,22	284,30	61,69
Asi 2 Nord	51,03	11,07			27,78	6,03		
Asi1 Sud	3,33	0,72						
Asi 2 Cent - Ponente 2	50,24	10,90						
Banchina 16	15,91	3,45	11,83	2,57	24,86	5,40	21,58	4,68
Banchina 13			9,52	2,07				
Banchina 12	13,98	3,03			6,50	1,41		
E.P. Fiume Santo	224,18	48,65	172,63	37,46			259,69	56,35
Ponente 1	0,00	0,00	0,00	0,00	56,37	12,23	232,32	50,41
Ponente 2	189,25	41,07	243,34	52,81	290,10	62,95	98,85	21,45
Segni Dogana Esterno	18,53	4,02	0,00	0,00	128,56	27,90	138,79	30,12
Asi Gas	8,13	1,76	9,25	2,01			3,50	0,76
Totale mensile	959,04	208,11	681,65	147,92	865,88	187,90	1093,05	237,19

Nella seguente tabella sono riportati i dati sintetizzati delle varie banchine nei 4 moli principali ad esclusione di quello di E.P produzione che si trova ad alcuni chilometri di distanza ed è a uso esclusivo delle navi che trasportano carbone per la centrale di Fiume Santo e per questo è stato escluso dallo studio;

Di particolare rilievo il dato di fabbisogno energetico annuo che si attesta a 8830 MWh annui, con un fabbisogno energetico giornaliero che oscilla dai 18,2 MWh per alcuni mesi invernali ai quasi 28 MWh giornalieri per il periodo estivo.

Tabella 11: Fabbisogni energetici in MWh e tonnellate di carburante suddivisi per moli di attracco.

	Gennaio		Febbraio		Luglio		Agosto		ANNUO	
	MWh	tonn MGO	MWh	tonn MGO	MWh	tonn MGO	MWh	tonn MGO	MWh	tonn MGO
ASI	488,89	95,19	240,62	52,22	351,48	76,27	334,41	72,57	4246,22	296,24
Ponente	189,25	41,07	243,34	52,81	346,47	75,18	331,17	71,86	3330,71	240,92
Dogana Segni	18,53	4,02			128,56	27,90	138,79	30,12	857,63	62,04
Alti Fondali	38,20	8,29	25,05	5,44	39,37	8,54	28,99	6,29	394,81	28,56
Totale mensile	734,86	197,21	681,65	110,46	865,88	187,90	833,43	180,84	8829,4	627,76
medio giornaliero	24,495		18,179		27,93		26,88		24,19	

5.1.4 Emissioni rete elettrica nazionale

Per quanto riguarda le emissioni di gas serra ed emissioni inquinanti è stata analizzata la pubblicazione di ISPRA [13], che ne ha elaborato le quantità anno per anno, in base al consumo di combustibili nazionale ed al mix energetico nazionale, prendendo quindi in considerazione sia il parco termoelettrico che le fonti rinnovabili.

In questo studio non è necessario entrare nel dettaglio di come sia formato il mix energetico, ma gli unici dati di interesse sono quelli globali; di seguito verranno riportate le tabelle in cui sono riassunti i valori di interesse.

Tabella 12: Fattori di emissione di gas serra dal settore elettrico per la produzione di energia elettrica e calore (gCO₂eq/kWh*) – fonte (ISPRA)

Gas serra	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Anidride carbonica - CO ₂	450,39	379,66	312,89	304,62	299,86	282,19	266,86	251,26
Metano - CH ₄	0,45	0,49	0,66	0,66	0,65	0,64	0,64	0,64
Protossido di azoto - N ₂ O	1,40	1,45	1,65	1,60	1,48	1,45	1,32	1,30
GHG	452,24	381,59	315,20	306,88	301,99	284,29	268,81	253,20

* energia elettrica totale al netto dai pompaggi + calore in kWh

Tabella 13: Fattori di emissione (mq/kWh*) degli inquinanti atmosferici emessi per la produzione di energia elettrica e calore. - fonte (ISPRA)

Inquinanti atmosferici	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ossidi di azoto - NO _x	368,44	288,07	253,12	237,66	226,91	218,32	209,57	205,36
Ossidi di zolfo - SO _x	524,75	222,46	95,41	71,72	63,31	58,41	47,44	45,50
Composti organici volatili non metanici - COVNM	52,97	73,26	81,69	86,78	85,62	86,54	85,78	90,20
Monossido di carbonio - CO	105,49	101,11	94,31	96,29	97,60	93,37	94,44	92,48
Ammoniaca - NH ₃	0,63	0,61	0,67	0,57	0,50	0,46	0,33	0,28
Materiale particolato - PM ₁₀	16,91	8,03	4,12	3,54	3,31	2,91	2,66	2,37

* energia elettrica totale al netto dai pompaggi + calore in kWh

Si può notare come analogamente alla convenzione MARPOL per il tenore massimo di zolfo nei carburanti, anche nella produzione elettrica a terra ci sia stata una drastica regolamentazione per quanto riguarda le emissioni di ossidi di zolfo.

5.1.5 Stima costi impianto

Per la stima dei costi di realizzazione delle opere, vista la loro non convenzionalità e la presenza in letteratura di poche informazioni in questo senso, si è fatta una stima forfettaria a seguito di una interlocuzione con la adsp del mare di Sardegna.

Riportando quanto detto nella pubblicazione fatta da Enelx “La stima è effettuata in base alle assunzioni medie di investimento per infrastrutture simili (c.a. 521 mila €/MW) e la potenza complessiva richiesta. L’adeguamento delle imbarcazioni richiederà un investimento aggiuntivo di circa 0,5-1 milione di euro per ogni nave. Il numero stimato di navi da adeguare è di circa 2.000, con un costo totale dell’investimento dell’ordine di 1.500 milioni di euro.” e sulla base di quelli che sono stati i costi degli impianti già realizzati a Genova e Livorno, si assume circa 0,6 milioni di euro per MW installato oltre l’eventuale costo per ogni imbarcazione da equipaggiare.

Per la stima dei costi impianto si è dovuta ricavare la potenza impegnata.

A ciascun molo fanno capo differenti banchine, per cui si è considerata come potenza nominale la somma della massima potenza impegnata per ciascuna banchina, i dati vengono riportati nel seguito:

- Molo ASI (Asi 1 Nord, Asi 1 Cent, Asi 2 Cent, Asi 1 Sud, Asi Gas)
16 MW
- Molo ponente (Ponente1, Ponente 2)
13,8 MW
- Molo Dogana Segni (Segni dogana esterno)
2,9 MW
- Molo Alti Fondali (Alti fondali, Banchina 11, Banchina 12, Banchina13, Banchina 16)
7,1 MW

Ora se dovessimo considerare i costi per la potenza nominale questi sarebbero enormi e peraltro non giustificati dalle poche volte in cui la disponibilità di potenza verrebbe utilizzata a pieno; perciò, le potenze installate devono essere ridotte rispetto a tali valori tramite dei fattori correttivi per tenere conto della non contemporaneità dei carichi, tutto ciò è accentuato dalla necessità di avere 4 diversi convertitori e trasformatori di potenza.

Si prenda il caso del molo ponente dove la potenza nominale sarebbe di 13,8 MW, questi sono dati in gran parte dal fabbisogno di potenza degli attracchi delle crociere con ben 11 MW, che si verificano per sole 3 volte al mese nella stagione estiva

Si rimanda perciò questa parte ad eventuali successivi studi che prendano in considerazione più fattori al fine di definire più precisamente le taglie in gioco, nel presente studio si è deciso di utilizzare una potenza complessiva di 18 MW con un conseguente costo di 10.8 milioni di euro. In questo modo non si pretende di poter alimentare contemporaneamente tutte le navi, necessità che tra l'altro si presenta di rado, ma piuttosto si ottimizza la taglia del sistema che avrà sicuramente un coefficiente di utilizzo maggiore, date le inevitabili approssimazioni e considerando che il costo della realizzazione verrà coperto dai fondi PNRR, considerando anche come vedremo nei paragrafi successivi la notevole volatilità dei prezzi dell'energia ci si concentrerà più in termini fisici sulle emissioni durante l'esercizio dell'infrastruttura.

È stato inoltre analizzato un terzo caso in cui l'impianto di fornitura elettrica viene supportato da un impianto fotovoltaico; si è scelta questa fonte perché ricalca l'andamento dei fabbisogni energetici maggiore in estate rispetto al periodo invernale; Per la scelta della taglia dell'impianto si è considerata approssimativamente la disponibilità di superficie richiesta utilizzando le coperture delle varie infrastrutture presenti in porto e altre aree eventualmente disponibili si riesce ad arrivare a 0,54 MW. Il costo di installazione confrontando altri casi di installazione di questo tipo si è attestato intorno ai 1100 €/kW di picco installato, la disponibilità di superficie richiesta è confermata se vengono utilizzate le coperture delle varie infrastrutture presenti in porto e altre aree eventualmente da definire;

Il software ha confrontato molteplici soluzioni in modo da trovare il minor valore possibile del VAN che si è attestato a 37 milioni di euro, minore del caso della sola elettrificazione delle banchine 38.8 milioni di euro ma comunque sia sempre maggiore dello scenario senza intervento che si attesta a soli 22.7 milioni (ricordiamo che in questo caso non è stato impostato un fondo per l'investimento in quanto i generatori sono già presenti), una potenza ottimale così ridotta se confrontata con la potenza impegnata di 18 MW è giustificabile dal fatto che i carichi sono estremamente variabili ma soprattutto molto saltuari a livello temporale, si va da una media di 18,2 MWh giornalieri richiesti nei mesi invernali fino ai 28 MWh al giorno nell'alta stagione.

5.1.6 Costo energia

Il prezzo dell'elettricità prodotta dai generatori della nave è principalmente influenzato dal costo del combustibile utilizzato e, di conseguenza, è sensibile alle variazioni dei prezzi del petrolio.

La generazione di un chilowattora (kWh) di energia elettrica richiede secondo i dati ENTEC circa 0,217 kg di Marine Gas Oil che avendo una densità di 0,850 kg/l corrispondono a 0,255 l/kWh, tenendo conto dell'efficienza dei motori a combustione interna e dei generatori sincroni. Il consumo specifico, espresso in litri per chilowattora (l/kWh), può variare notevolmente in base alle dimensioni dei generatori, al loro modello e anche alla quantità di carico. Tuttavia, per considerazioni generali, 0,255 l/kWh può essere considerato un valore ragionevole.

Il costo del combustibile segue il costo del petrolio, quindi risente della stessa variabilità, nel grafico di seguito vediamo l'andamento negli ultimi anni dei prezzi del LSMGO, dove LS sta per low sulfur.

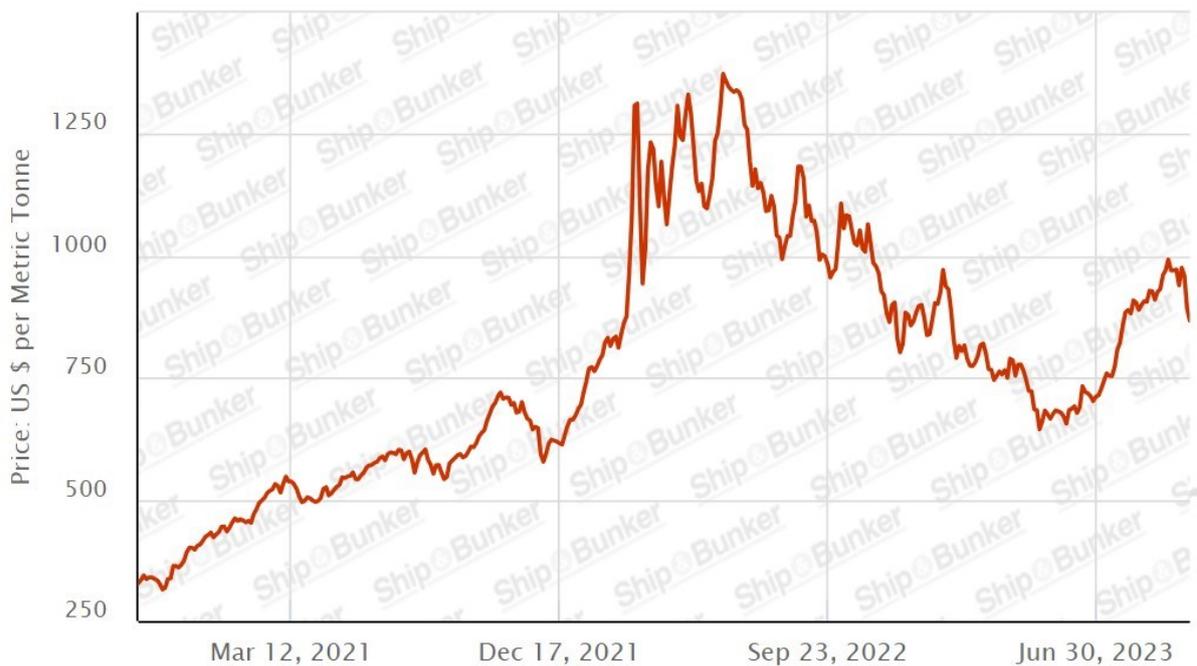


Figura 5-4 : Andamento prezzi MGO fonte: [14]

È facile capire come una volatilità così accentuata rende azzardate considerazioni sul lungo termine, considerando quindi il prezzo odierno all'ingrosso del marine gas oil di 603 dollari a tonnellata che corrispondono con il cambio attuale a 597 euro per una tonnellata di MGO, si deduce che il costo di produzione a bordo dell'energia elettrica intorno ai 13 c€/kWh, considerando i costi di esercizio (manutenzioni e varie) si può considerare un valore medio orientativo di 16 c€/kWh.

Il costo dell'energia elettrica prelevata da rete elettrica nazionale per utenti industriali indicato da ARERA per l'anno 2021 (dato più recente) e con consumi compresi tra i 2 e i 20 GWh/anno si attestava a 16,5 euro/MWh, considerando percentualmente l'aumento del PUN (da 10c€/kWh del 2021 a 14c€/kWh attuali) rispetto al dato del 2021 si arriva indicativamente a 20 euro/MWh.

🔥 Prezzi finali dell'energia elettrica per i consumatori industriali - Ue a Area euro

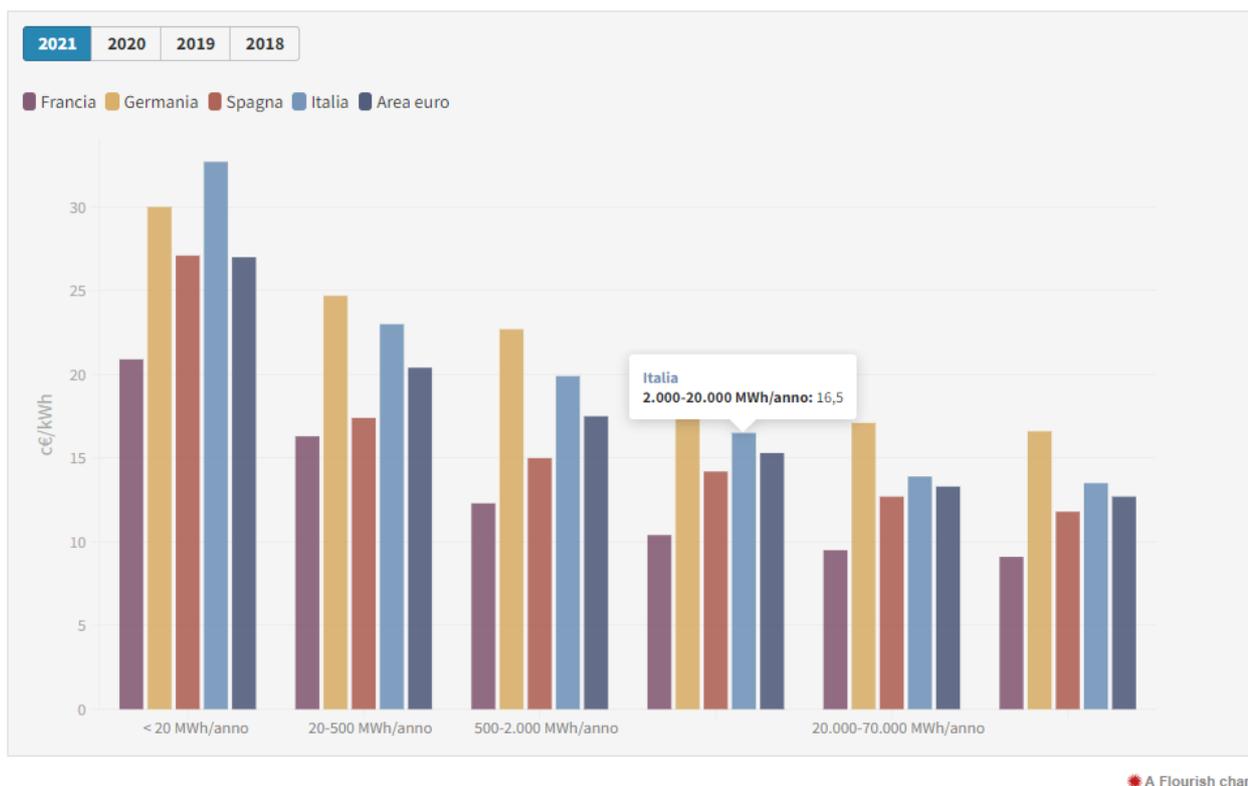


Figura 5-5; prezzi finali dell'energia per i consumatori industriali - UE e Area euro (ARERA)

Se consideriamo anche i costi delle infrastrutture a terra e a bordo, diventa evidente che il "cold ironing" non può essere giustificato dal punto di vista economico. Al contrario, rappresenta un peso finanziario sia per l'operatore portuale sia per l'armatore.

Per fronteggiare questa situazione, erano state emanate delle disposizioni legislative 162/2019 che prevedevano che ARERA adottasse delle misure di natura tariffaria in modo da favorire la diffusione del cold ironing anche nei porti italiani, in risposta ARERA nel "Documento per la consultazione per la formazione di provvedimenti nell'ambito del procedimento avviato con deliberazione dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente 22 marzo 2022,

115/2022/R/EEL” sottolinea che non ha alcuna possibilità di definire una specifica tariffa poiché la piena liberalizzazione del mercato dell’energia elettrica impedisce il ritorno a “tariffe di fornitura” amministrative;

Inoltre la recente evoluzione del mercati energetici indebolirebbe l’efficacia dei provvedimenti proposti in quanto la forte crescita dei prezzi ha ridotto drasticamente il peso delle componenti tariffarie, viene suggerito inoltre che l’unico modo per proteggere i prezzi finali dell’energia sarebbe quello dell’autoproduzione di una certa quota tramite energie rinnovabili, possibilità inoltre agevolata dal D.Lgs.199/21 che prevedendo idonee le aree portuali anche per impianti eolici fino a 100 MW di potenza. [15]

5.1.7 Costo marginale emissioni

Per poter avere una percezione delle emissioni è importante valutarle da punto di vista monetario; a riguardo esistono molteplici pubblicazioni, noi prenderemo in considerazione “Handbook on the external costs of transport Version 2019 – 1.1” [16] fornita dalla Commissione Europea Mobilità e Trasporti che è più aggiornata e completa. Come già accennato, saranno considerati sia i costi per gli inquinanti a livello locale come, ad esempio, effetti diretti sulla salute umana, perdita di raccolto, perdita di biodiversità, corrosione dei materiali delle infrastrutture e sia gli effetti per gas che hanno una carbon footprint come CO₂, CH₄ e N₂O e che quindi hanno effetti a livello globale.

I valori estrapolati dalla tabella n.14 della pubblicazione indicata si riferiscono all’Italia ed essendo datati 2016 sono stati attualizzati al 2023 con tasso del 3% (tasso di attualizzazione sociale fissato dall’Unione Europea nell’ambito del Regolamento di esecuzione (UE) n. 207/2015), questi riguardano gli effetti locali;

Tabella 14: tabella esternalità emissioni attualizzata al 2023

	NH ₃	NMVO C	SO ₂	NO _x transport city ^o	NO _x transport rural ^o	PM 2.5 transport metropole ^o	PM 2.5 transport city ^o	PM 2.5 transport rural ^o	PM 10 average
€(2016)/kg	21,6	1,1	12,7	25,4	15,1	409	132	79	27
€(2023)/kg	26,6	1,4	15,6	31,2	18,6	503,0	162,3	97,2	33,2

^o Zona rurale: fuori città; area metropolitana: città/agglomerato con più di 0,5 milioni di abitanti.

Il monossido di carbonio non è incluso perché per essere considerato nocivo deve superare soglie che è improbabile che vengano superate attraverso esposizioni ambientali, gli unici studi che lo considerano si riferiscono ad ambienti chiusi ed esposizioni brevi; [16]

Per quanto riguarda i gas serra, a causa del fatto che gli effetti sono globali e a lungo termine, la quantificazione dei costi comporta modelli complessi e molto variabili in base alla metodologia e confini scelti, il costo è associato al riscaldamento globale, all'innalzamento del livello del mare, perdita di biodiversità, scarsità d'acqua ed eventi estremi sempre più frequenti;

Esistono due principali modi per monetizzare i costi del cambiamento climatico: utilizzando un approccio basato sui costi dei danni o un approccio basato sui costi di evitamento.

I costi dei danni presentano seri limiti perché effetti potenzialmente catastrofici, come il disgelo delle calotte polari in Groenlandia o nell'Antartide occidentale o cambiamenti nei sottosistemi climatici come l'El Niño, non possono essere facilmente incorporati. Le riduzioni delle emissioni di gas serra concordate nell'Accordo di Parigi si basano sulla prevenzione dell'aumento della temperatura al di sopra di 1,5-2 gradi Celsius che equivale approssimativamente a non raggiungere più di 450 ppm (parti per milione) di CO₂ nell'atmosfera. Superare questo livello è considerato troppo rischioso per le future generazioni. Pertanto, ha senso formulare i costi del cambiamento climatico come costi di evitamento, basati sull'obiettivo concordato nell'Accordo di Parigi.

I costi di evitamento utilizzati nell'Handbook 2019 si basano su un'analisi di recenti ricerche che ha rivelato che il valore centrale dei costi a breve e medio termine (fino al 2030) è di € 100/tCO₂ equivalente (€ 2016). Il valore centrale per i costi a lungo termine (fino al 2060) è di € 269/tCO₂ equivalente (€ 2016). Il grafico seguente mostra una raccolta dei dati sulle stime dei costi da varie pubblicazioni.

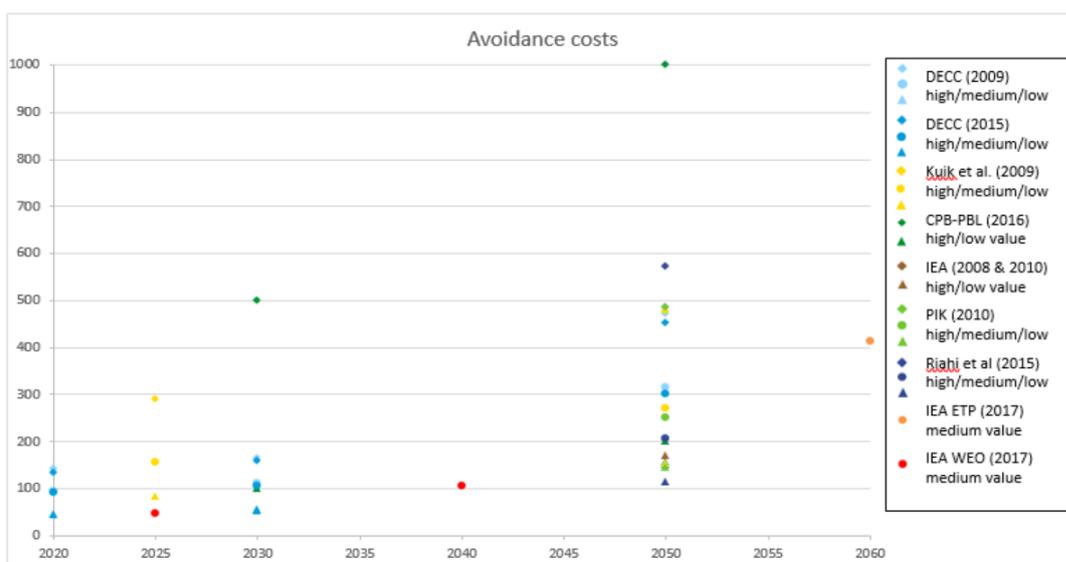


Figura 5-6; raccolta costi evitamento da varie fonti in €/tCO₂eq – fonte (Handbook 2019)

La Tabella di seguito mostra gli estremi per questi periodi temporali. Questi valori sono stati derivati calcolando la media delle stime basse, centrali ed alte per i periodi temporali rilevanti dei valori presenti nella letteratura, escludendo tuttavia i valori più bassi e più alti al fine di eliminare i dati anomali.

Tabella 15: Esternalità associate alla CO2 secondo il metodo delle emissioni evitate

	Low	Central	High
Short-and-medium-run (up to 2030)	60	100	189
Long run (from 2040 to 2060)	156	269	498

Il valore di riferimento nell'handbook per il medio periodo (orizzonte temporale di 15 anni) è di 100€/tCO2 equivalente al 2016, che attualizzato diventa **123€/tCO2eq**.

Per valutare gli effetti differenziali della presenza dei vari gas climalteranti, dovuti alla loro particolare attività di diffusione della radiazione solare e alla loro diversa capacità di persistenza in atmosfera, e confrontarli con il comportamento dell'anidride carbonica, si utilizza il concetto di global warming potential a 100 anni, il valore per la CO2 è standardizzato ad 1, mentre, nell'ultimo Assessment Report IPCC [17] è di 27 per il CH4 e di 273 per l'N2O.

5.2 Calcolo impatto ambientale e costi marginali

IL calcolo dell'impatto dei gas serra è stato eseguito utilizzando la valutazione della "Carbon footprint" con l'aggiunta degli effetti delle emissioni non climalteranti che influenzano la qualità dell'aria della zona portuale.

Emissioni

Le emissioni sono stimate in funzione della richiesta di potenza della nave o dell'energia utilizzata espressa in kWh moltiplicata per un fattore di emissione, dove il fattore di emissione è espresso in termini di grammi per chilowattora (g/kWh). Regolazioni del fattore di emissione (per basso carico del motore di propulsione, diverso consumo di carburante o controlli delle emissioni) vengono poi applicati ai vari dati di attività e operativi.

L'equazione di seguito sono le equazioni di base utilizzate per stimare le emissioni

$$eq1: \quad E_i = Energy * EF * CF$$

Dove:

E_i = emissioni per modalità operativa i , nel nostro caso hottelling

Energy = fabbisogno energetico per la modalità i , calcolato utilizzando l'Equazione 2 sottostante come produzione di energia del motore/ i o caldaia/ e nel periodo di tempo, kWh

EF = fattore di emissione, espresso in g/kWh, dipende dal tipo di motore, norme IMO Nox e carburante utilizzato

CF = fattore(i) di controllo per le tecnologie di riduzione delle emissioni, ove presente, senza unità

Per il calcolo del fabbisogno energetico mensile è stata utilizzata la seguente equazione:

$$eq2: \quad Energy = P_{nom} * lf * tp$$

Dove:

P_{nom} = potenza nominale motori ausiliari come dalla tabella in fig 4.3, questo dato varia in base alla tipologia di imbarcazione e in base al tonnellaggio.

lf = load factor, esprime il fattore di utilizzo che varia in base alla tipologia

tp = tempo permanenza in banchina, questo dato è stato elaborato a partire dai dati disponibili a livello mensile per ciascuna imbarcazione.

Risultati di calcolo

I risultati sono notevoli, passando dalla pratica attuale della produzione di energia elettrica a bordo all'alimentazione elettrica dalla banchina si ha una riduzione delle emissioni di gas serra da 6,1 a 2,24 milioni di tonnellate di CO2 equivalente con una riduzione del 63,3 %; leggermente più accentuata è la diminuzione rispetto al caso dell'alimentazione dalla banchina supportata da un impianto fotovoltaico che si attesta al 69,4 %; Per la contabilizzazione delle emissioni in CO2 equivalente si è fatto riferimento ai coefficienti di conversione riportati nel 4° Assessment Report dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Risultati ancora più netti si sono ottenuti per quanto riguarda gli inquinanti con effetto locale dove le riduzioni sono state di due ordini di grandezza per NOX, PM10, PM2.5 e di un fattore 10 per HC, CO e SOx, dovendo prendere in considerazione, inoltre, il fatto che queste emissioni sono decentrate e non nel cuore della città il risultato è ottimo.

Tabella 16: Risultati di calcolo emissioni inquinanti annuali per il porto di Porto Torres

valori in kg	NOX	PM10	PM2,5	HC	CO	Sox	CO2eq
generatori ausiliari	122728	1589	1501	3532	9712	3708	609853
cold ironing	1810	21	44	795	817	402	5
differenza	120918	1568	1457	2737	8896	3307	223559
% riduzione	98,5%	98,7%	97,1%	77,5%	91,6%	89,2%	7
							386293
							8
							63,3%
valori in kg	NOX	PM10	PM2,5	HC	CO	Sox	CO2eq
generatori ausiliari	122728	1589	1501	3532	9712	3708	609853
cold ironing	1512	17	37	664	682	336	5
differenza	121216	1572	1464	2868	9030	3373	186760
% riduzione	98,8%	98,9%	97,5%	81,2%	93,0%	90,9%	3
							423093
							2
							69,4%

Il grafico visualizza i dati in tabella per un confronto più pratico ed immediato, le emissioni di NOX sono state divise per un fattore 10 in modo tale da rendere visibili gli altri inquinanti, inoltre sono state utilizzate due differenti scale; una che fa da riferimento agli inquinanti con effetti locali e una seconda per le emissioni climalteranti espresse in CO2 equivalenti in quanto si arriva nell'ordine di milioni di tonnellate.

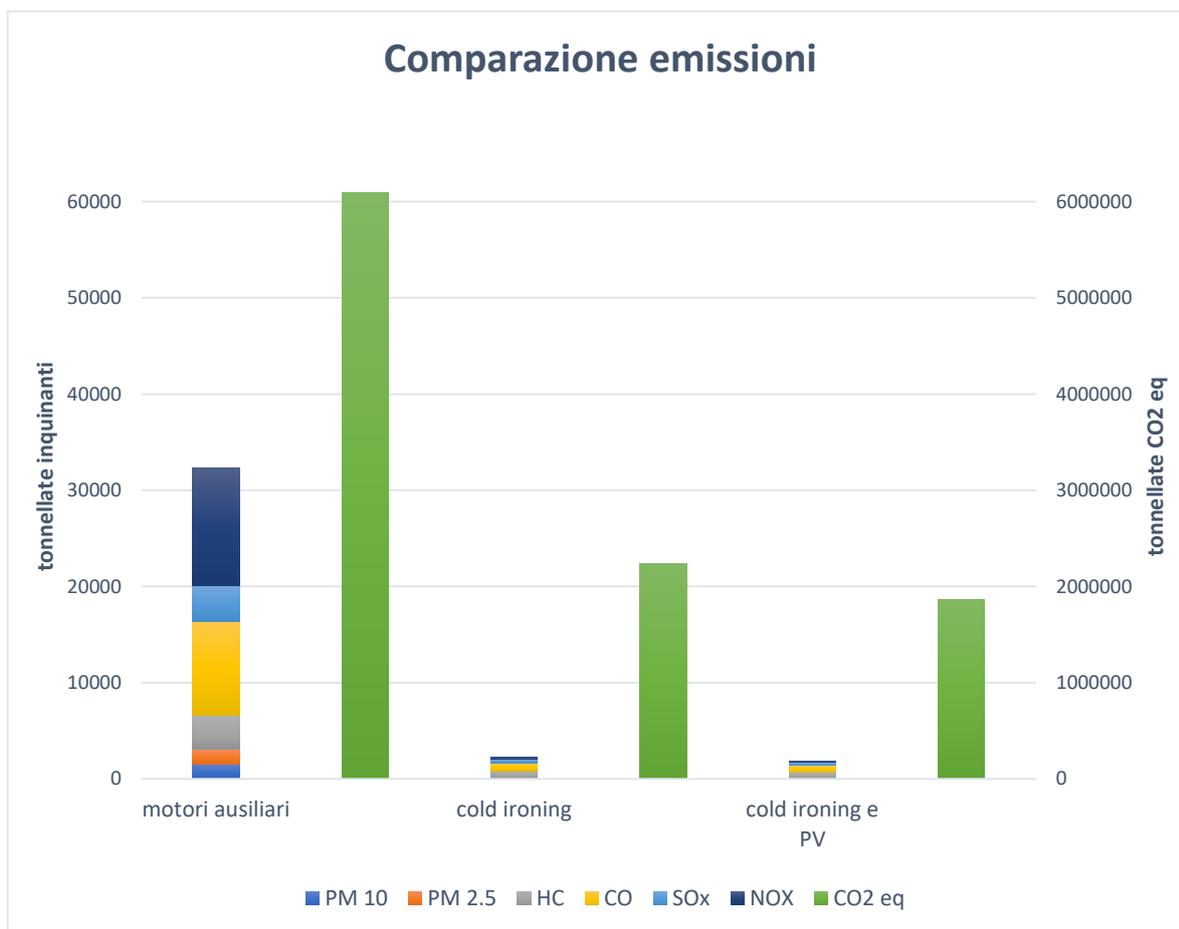


Figura 5-8: Grafico emissioni inquinanti e CO2equivalente per i casi analizzati

Si sono infine applicati i costi esterni dovuti alle emissioni differenziando tra costi degli effetti locali e costi degli effetti climalteranti.

Si può vedere che nel caso base le esternalità dovute alle emissioni locali superano i 4 milioni di euro, questo risultato è abbastanza preoccupante se si pensa che viene pesato principalmente in danni alla salute umana, se confrontato ai risultati dei casi di alimentazione da banchina con o senza supporto dell'impianto fotovoltaico si capisce che la riduzione è netta, in questo contribuiscono sia la diminuzione delle emissioni a livello fisico ma anche il modo in cui queste vengono valutate, un chilogrammo di NOX in centro città ha effetti molto più nocivi dello stesso se emesso in una zona rurale.

Per quanto riguarda le emissioni climalteranti le loro esternalità si riducono in modo proporzionale alle loro quantità emesse avendo lo stesso metro di giudizio indipendentemente dal punto di emissione, passando da 610 mila euro per il caso base a 223 mila e 187 mila euro rispettivamente per il solo caso di alimentazione dalla banchina e quello con anche il fotovoltaico.

Tabella 17: Risultati di calcolo esternalità dovute a emissioni inquinanti annuali per il porto di Porto Torres

valori in €	NOX	PM10	PM2,5	Sox	CO2eq
generatori ausiliari	3829122	52764	243611	57850	750120
cold ironing	33614	695	4289	6267	274978
differenza	3795508	52070	239322	51583	475141
% riduzione	99,1%	98,7%	98,2%	89,2%	63,3%
valori in €	NOX	PM10	PM2,5	Sox	CO2eq
generatori ausiliari	3829122	52764	243611	57850	750120
cold ironing + PV 0,54MW	28081	580	3583	5235	229715
differenza	3801041	52184	240028	52615	520405
% riduzione	99,3%	98,9%	98,5%	90,9%	69,4%

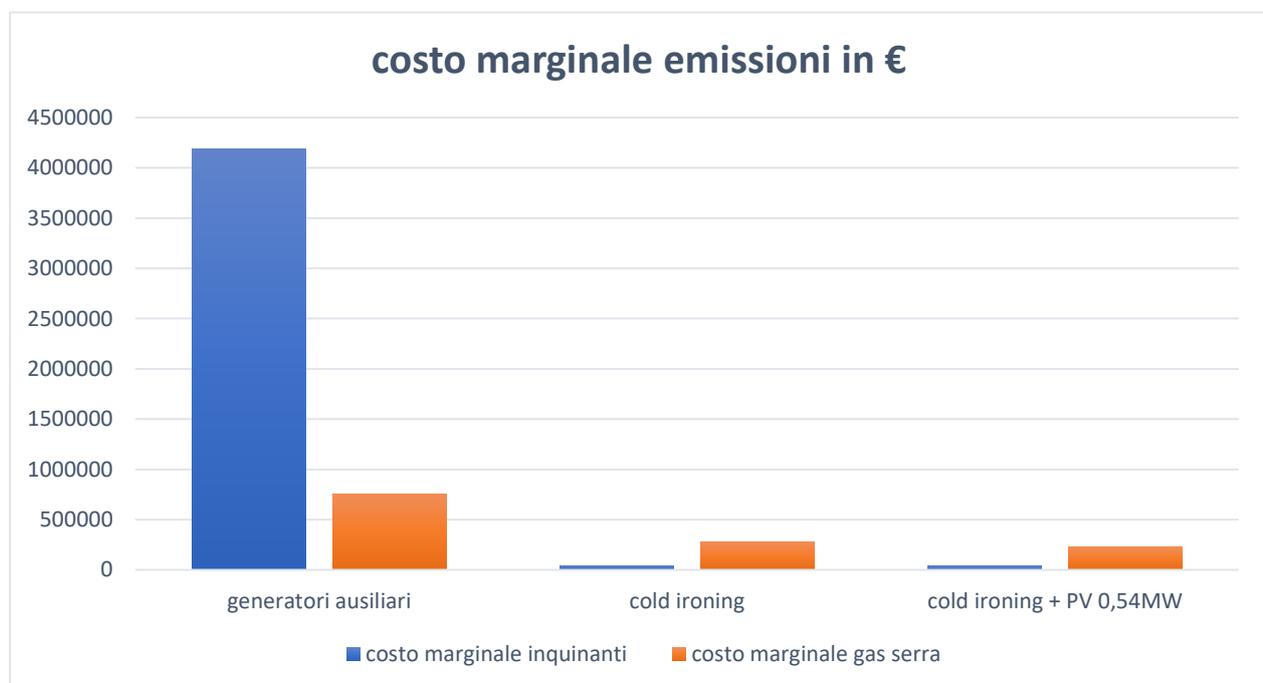


Figura 5-9: Grafico esternalità dovute a emissioni inquinanti annuali per il porto di Porto Torres

5.3 Analisi costi benefici e costi efficacia

Lo studio in oggetto si prepone di valutare i vantaggi in termini ambientali ed economici ottenuti da interventi di efficientamento energetico sul sistema portuale, in particolar modo tramite l'elettrificazione delle banchine per le navi in sosta e l'installazione di un impianto fotovoltaico a supporto. Il caso studio che si è preso in esame è il porto di Porto Torres, il modello è stato strutturato tramite il software Homer Pro, sono state effettuate alcune analisi di sensibilità costi/benefici sia economici che ambientali.

Si procede alla valutazione come indicato nel paragrafo 5.4.2 delle Linee guida [9] dove viene indicato che “la semplificazione dell'analisi di fattibilità economico-sociale, prevista dal DPCM 3 agosto 2012, può essere realizzata ricorrendo ad un unico indicatore che eviti diversi passaggi e stime di voci di beneficio dell'analisi economico-sociale. Dato che gli interventi energetico-ambientali possono comportare, oltre alla riduzione delle emissioni di CO₂, diversi benefici collaterali di tipo ambientale (Allegato 3), che individua 19 indicatori connessi al consumo di energia da fonti fossili), mentre i benefici economici potrebbero non accomunare tutte le tipologie d'intervento, si richiede il calcolo del seguente rapporto Benefici / Costi:”

$$\frac{C_{ext\ evitati}}{C_{inv} + C_{es}}$$

Dove:

C_{ext evitati}: sono i costi esterni ambientali evitati dall'intervento energetico-ambientale nel periodo di riferimento rispetto allo scenario senza intervento (opportunosamente attualizzati all'anno base dell'analisi).

C_{inv}: sono i costi d'investimento del progetto in esame.

C_{es}: costi esercizio nel periodo di riferimento del progetto direttamente desunti dal Piano economico-finanziario (anch'essi attualizzati all'anno base dell'analisi e calcolati in termini differenziali rispetto allo scenario assunto come riferimento).

Per i costi esterni ambientali evitati utilizziamo la differenza delle esternalità del caso con uso dei generatori di bordo e del caso di alimentazione da terra, questi sono riferiti ad un anno solare.

Tabella 18: Esternalità calcolate del caso base e del caso con intervento di elettrificazione.

valori in €	NOX	PM10	PM2,5	Sox	CO2eq
generatori ausiliari	3.829.122	52.764	243.611	57.850	750.120
cold ironing	56.473	695	4.289	6.267	274.978
differenza	3.772.649	52.070	239.322	51.583	475141

I costi di investimento per la realizzazione dell'infrastruttura sono stati stimati a 10.8 milioni di euro, per questo valore valgono le considerazioni del paragrafo 5.1.5.

I valori del costo di esercizio attualizzati all'anno base sono stati estratti dalla simulazione del software e si attestano a 1,77 milioni di euro/anno per l'approvvigionamento della totalità dell'energia dalla banchina maggiori dei 1.43 milioni di euro/anno per il caso base, i costi per l'utilizzo dei generatori di bordo si sarebbero dovuti comunque sostenere, viene perciò considerato come costo di esercizio la differenza tra i due importi.

La durata dell'investimento al fine della valutazione è stata presa pari a 25 anni.

Consideriamo due casi, uno nel quale il 100% del fabbisogno dell'energia alle navi viene fornito dalla banchina e un secondo dove viene fornito il 60% del fabbisogno energetico, questo secondo caso è al momento ancora molto ottimistico vista la diffusione a bordo delle navi delle connessioni necessarie, inoltre per completezza esprimeremo il dato costi/benefici considerando i soli benefici dovuti alla riduzione di CO2 equivalente, per i soli effetti locali ed infine interamente.

Per l'analisi costi-efficacia si prosegue invece come descritto nel paragrafo 3.3.4, il metodo proposto ci dà la possibilità di utilizzare o meno i costi di esercizio al denominatore, nel nostro caso verranno presi in considerazione.

$$\frac{a * \text{ton CO 2 evitate} + b * \text{ton PM 2,5 evitate} + c * \text{tonNO x evitate}}{C_{inv} + C_{es}}$$

I coefficienti da utilizzare sono a=1; b=2193; c=120

Costi-benefici: ricordiamo che l'indicatore di tipo economico costi/benefici è adimensionale, idealmente indica il beneficio in termini economici per ogni euro speso nell'investimento, si è stati conservativi poiché tra i benefici non son stati inclusi la riduzione del rumore e le implicazioni di tipo sociale come i nuovi impieghi specializzati necessari al funzionamento dell'infrastruttura; questi due ulteriori aspetti aumenterebbero ulteriormente il rapporto benefici/costi.

Tabella 19: Risultati analisi costi benefici, casi 100% e 60% di utilizzo.

utilizzo cold ironing 100%			utilizzo cold ironing 60%		
inquinanti	CO2eq	totali	inquinanti	CO2eq	totali
5,3607	0,6155	5,9762	3,9042	0,4482	3,9042

Costi-efficacia: Per esprimere in modo più diretto i risultati, essendo l'intervento finalizzato alla riduzione delle emissioni di CO2, in questo modo si riesce ad avere una immediata coscienza della bontà dell'intervento.

Tabella 20: Risultati analisi costi efficacia, casi 100% e 60% di utilizzo.

utilizzo cold ironing 100%	utilizzo cold ironing 60%
tonnCO2eq/€	tonnCO2eq/€
0,02794	0,02035

Questi risultati risultano leggermente migliori, ma comunque in linea con quelli di altri progetti della stessa tipologia.

6 Conclusioni

L'analisi costi/benefici per il "cold ironing" del caso analizzato rivela che questa tecnologia rappresenta una soluzione vantaggiosa ambientale nei contesti portuali. Dopo un'attenta valutazione dei costi iniziali, dei costi operativi e dei benefici associati all'implementazione del "cold ironing," è possibile trarre le seguenti conclusioni:

Impianti come quello analizzato, se dovesse essere realizzato a fini esclusivamente economici non troverebbe al giorno d'oggi giustificazione, ma essendo il costo di realizzazione finanziato da fondi sia europei che nazionali si potrebbe "mantenere" a livello finanziario solo a patto di un adeguamento delle tariffe per l'energia elettrica, poiché al momento non sono competitive con i prezzi del carburante per la produzione di energia a bordo; A tal fine, come analizzato nel testo esistono già delle proposte di legge in attesa che ARERA trovi una soluzione per l'adeguamento delle tariffe; un prezzo ideale sarebbe quello che rendesse almeno uguale a livello economico con i prezzi dei carburanti utilizzati a bordo.

Ciononostante, il rapporto benefici/costo è ampiamente maggiore di uno, già nel caso di moderato utilizzo (60%) il valore si attesta a 3,9 e aumenta ancor più con l'ipotesi che l'intera flotta venga alimentata da terra, si può allora considerare l'investimento di utilità pubblica come positivo ed auspicabile;

Il risultato per l'analisi costi efficacia, che di per sé rappresenta l'obiettivo del progetto riesce a darci immediata consapevolezza dell'efficacia dell'intervento, nel caso di pieno utilizzo ho 0,0279 tonnellate CO₂eq/€, ovvero, in altre parole un investimento pari 35,8 € fa risparmiare una tonnellata di CO₂ equivalente.

Con questo lavoro di tesi si sono voluti dimostrare i potenziali vantaggi in termini ambientali dell'intervento unitamente ad una valutazione economica preliminare, che avrebbe bisogno di essere

È necessario procedere affinché l'occasione di avere fondi dedicati a questi progetti dal fondo PNRR e dal fondo complementare non vadano sprecati, ma bensì vengano sfruttati al meglio possibile.

La sfida che si prospetta è importante e complessa; tuttavia, non vi è altra valida alternativa che vincerla e superare le difficoltà. Perché la strada da percorrere è quella che va verso scelte concrete di sostenibilità ambientale. [18]

7 Bibliografia

- [1] «IMO Marine Engine Regulations,» [Online]. Available: <https://dieselnet.com/standards/inter/imo.php>.
- [2] ESPO, «ESPO History,» [Online]. Available: <https://www.espo.be/organisation#mission-statement-2>.
- [3] ESPO, «ESPO ENVIRONMENTAL Report 2022,» 2022. [Online]. Available: [https://www.espo.be/media/ESP-2959%20\(Sustainability%20Report%202022\)_V8.pdf](https://www.espo.be/media/ESP-2959%20(Sustainability%20Report%202022)_V8.pdf).
- [4] D. C. W. A. P. R. M. D. Dr Martí Puig, «ESPO Environmental Report 2022 EcoPorts in Sights,» [Online]. Available: [https://www.espo.be/media/ESP-2959%20\(Sustainability%20Report%202022\)_V8.pdf](https://www.espo.be/media/ESP-2959%20(Sustainability%20Report%202022)_V8.pdf).
- [5] E. X. Legambiente, «Porti verdi: la rotta per uno sviluppo sostenibile,» Febbraio 2021. [Online]. Available: https://asvis.it/public/asvis2/files/Eventi_Flash_news/Enelx_Legambiente-web.pdf.
- [6] M. T. D. M. D. C. M. L. Giuseppe Catalano, «INVESTIMENTI E RIFORME DEL PNRR PER LA PORTUALITA',» 2022. [Online]. Available: https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-10/INVESTIMENTI%20E%20RIFORME%20PER%20LA%20PORTUALITA_0.pdf.
- [7] «COLD IRONING: DECARBONIZZARE I PORTI PER CITTÀ PIÙ SOSTENIBILI,» Aprile 2022. [Online]. Available: <https://www.bureauveritas.it/magazine/cold-ironing-decarbonizzare-i-porti-citta-piu-sostenibili>.
- [8] I. S. M. I. V. G. I. S. S. G. C. P. Ing. Bastiano Deledda, «COSTRUZIONE E MESSA IN ESERCIZIO DI UN IMPIANTO DI ON-SHORE POWER SUPPLY (COLD-IRONING) PER L'ALIMENTAZIONE ELETTRICA IN MT DI NAVI DA CROCIERA E DI VARIO TIPO NEI PORTI DELL'AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE DI SARDEGNA,» 2022. [Online]. Available: <https://albi.adspmaredisardegna.it/tender/1926>.

- [9] «Linee Guida per la redazione dei Documenti di Pianificazione Energetico Ambientale dei Sistemi Portuali DEASP,» 2018. [Online]. Available: https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/notizie/CLE/lg_deaspsfinale.pdf.
- [10] International_ICF, «Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories,» April 2009. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/2009-port-inventory-guidance.pdf>.
- [11] Entec, «Ship Emissions Inventory – Mediterranean Sea, Final Report for Concawe,» April 2007. [Online].
- [12] interreg-maritime.eu, «Report Attività T1.1.1: “Stato dell’arte del consumo di vari combustibili marini e dell’uso del GNL come fonte di energia sostenibile in Italia”,» 2020. [Online]. Available: https://interreg-maritime.eu/documents/782647/1723986/T1.1.1_Documento+di+analisi+dello+stato+dell+arte+europeo+sull+utilizzo+del+GNL_FR.pdf/33d0cf0c-8d23-494a-80a7-f02b42fc5489.
- [13] ISPRA, «Indicatori di efficienza e decarbonizzazione del sistema energetico nazionale e del settore elettrico,» 2022. [Online]. Available: <https://www.isprambiente.gov.it/files2022/pubblicazioni/rapporti/r363-2022.pdf>.
- [14] Shipandbunker, «Rotterdam Bunker Prices,» settembre 2023. [Online]. Available: <https://shipandbunker.com/prices/emea/nwe/nl-rtm-rotterdam>.
- [15] ARERA, «MEMORIA DELL’AUTORITÀ DI REGOLAZIONE PER ENERGIA RETI E AMBIENTE IN MERITO AL DISEGNO DI LEGGE RECANTE “LEGGE ANNUALE PER IL MERCATO E LA CONCORRENZA 2022”(AS 795),» [Online]. Available: <https://www.arera.it/allegati/docs/23/401-23.pdf>.
- [16] E. Commission, «Handbook on the external costs of transport Version 2019 - 1.1,» [Online]. Available: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9781f65f-8448-11ea-bf12-01aa75ed71a1>.

- [17] I. 2022, «Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, Table 9.A.2, page 1831,» [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf.
- [18] dieselnet, «IMO Marine Engine Regulations,» [Online]. Available: <https://dieselnet.com/standards/inter/imo.php>.
- [19] I. S. M. I. V. G. I. S. S. G. C. P. Ing. Bastiano Deledda, «Tav. N. 3E Porto Torres Planimetria distribuzione elettrica sottomarina Soluzione 3-signed.pdf,» [Online]. Available: <https://albi.adspmaredisardegna.it/tender/1926>.