

Contributi ENEA

al Piano del mare 2026-2028

1. CAMBIAMENTO CLIMATICO

Il Mediterraneo è ampiamente riconosciuto come un hotspot climatico di rilievo globale, poiché la sua velocità di riscaldamento eccede di circa il 20 % la media mondiale. I rapporti internazionali più recenti (IPCC AR6, MedECC) documentano un aumento della temperatura media annua di $\sim 1,4$ °C rispetto all'era pre-industriale, valore già superiore alla media planetaria, destinato a crescere di ulteriori 2–6 °C entro il 2100 in funzione dei differenti scenari emissivi. Con le politiche attualmente in vigore si prospetta un incremento di $\sim 2,2$ °C già entro il 2040, confermando la particolare vulnerabilità regionale. Il mare segue la medesima tendenza: il 2024 si è attestato come l'anno con le acque superficiali più calde mai registrate, con uno scarto di $+1,2$ °C rispetto alla norma climatologica. Anche le ondate di calore marine si intensificano: nell'estate 2022 quasi l'intero bacino è stato investito da marine heatwaves senza precedenti, con anomalie superficiali che in alcune aree hanno toccato $+4,6$ °C. Episodi un tempo eccezionali sono dunque destinati a divenire più frequenti e severi in ragione del riscaldamento globale in atto.

Anche altri parametri fisico-chimici mostrano andamenti preoccupanti. Il livello medio del mare cresce a ritmo accelerato: dopo un incremento storico di $\sim 0,7$ mm/anno nella seconda metà del Novecento, negli ultimi vent'anni l'innalzamento ha raggiunto un tasso di circa 3 cm per decennio. Tale dinamica, indotta principalmente dall'espansione termica degli oceani e dalla fusione dei ghiacci terrestri, continuerà e potrebbe intensificarsi. Entro metà secolo si prevede un aumento medio compreso fra ~ 10 e 25 cm, con la possibilità di raggiungere ~ 80 cm entro il 2100 nello scenario emissivo più severo. Mareggiate ed eventi meteo-marini estremi, combinati con tale innalzamento, incrementano l'esposizione a erosione costiera e inondazioni: delta fluviali, lagune e piane costiere italiane risultano già vulnerabili, con arretramento della linea di riva e salinizzazione delle falde sempre più evidenti. Inoltre, l'assorbimento di CO_2 atmosferica determina una progressiva acidificazione: il pH superficiale potrebbe diminuire di 0,4–0,5 unità entro fine secolo nello scenario ad alte emissioni, riducendo la saturazione calcica e ponendo a rischio organismi a guscio calcareo.

Le ricadute sui sistemi marino-costieri italiani sono tangibili e destinate a radicalizzarsi. Il riscaldamento delle acque favorisce la tropicalizzazione degli ecosistemi: specie termofile, un tempo rare, avanzano verso nord, mentre taxa endemici temperati subiscono crescenti stress termici e, disponendo di limitate possibilità di migrazione, rischiano l'estinzione locale. Contestualmente, l'introduzione di specie aliene invasive, spesso veicolate attraverso il Canale di Suez, minaccia la

siglato Brunori



biodiversità autoctona. Habitat particolarmente delicati (praterie di *Posidonia oceanica*, formazioni coralline e gorgonie) evidenziano segnali di sofferenza; nel Mar Ligure e nel Tirreno si sono documentati eventi di mortalità di massa in concomitanza con ondate di calore eccezionali. L'incremento di temperatura e acidità altera i cicli biogeochimici e la produttività primaria, con potenziali ripercussioni sulle risorse ittiche. Pesca e acquacoltura già oggi manifestano mutamenti nella distribuzione e nell'abbondanza degli stock (accertato, ad esempio, lo spostamento verso acque più profonde o settentrionali di acciughe e sardine), variazioni nella stagionalità riproduttiva e nei tassi di crescita, mentre gli allevamenti costieri subiscono l'effetto di ondate di calore, nuovi patogeni e ipossia. Senza contromisure adeguate, la combinazione di riscaldamento, innalzamento marino, acidificazione ed eventi estremi potrebbe compromettere la funzionalità degli ecosistemi, con perdita di biodiversità e di servizi (protezione costiera, risorse alimentari, turismo).

Alla luce di queste evidenze risulta imprescindibile adottare interventi mirati di adattamento e mitigazione in ambito marittimo e costiero, in linea con gli impegni europei e internazionali. Per l'adattamento, occorre potenziare la resilienza delle infrastrutture portuali e costiere ai rischi climatici emergenti. Il sistema portuale-logistico nazionale, tra i più esposti, dovrà dotarsi di piani che includano: valutazioni periodiche della vulnerabilità di porti e retro-porti a scenari futuri di innalzamento del mare; soluzioni ingegneristiche (opere grey) quali sopraelevazioni di banchine, rafforzamento di dighe foranee, miglioramento del deflusso pluviale e barriere antinondazione; approcci ecosistemici (nature-based solutions o misure green) quali ripristino di dune, zone umide litoranee e praterie di *Posidonia* in prossimità delle aree portuali; misure gestionali "soft", come l'integrazione del rischio climatico nella pianificazione portuale, l'implementazione di sistemi di allerta precoce, la formazione del personale e il coinvolgimento degli stakeholder locali. Nelle aree urbane costiere si impone l'applicazione della Gestione Integrata delle Zone Costiere (GIZC) su più livelli: strumenti urbanistici che disincentivino nuove costruzioni in aree ad alto rischio, piani di arretramento programmato quando necessario e finanziamenti dedicati al ripristino di dune, wetland e barriere naturali, concepite come infrastrutture verdi di protezione.

In materia di mitigazione il trasporto marittimo e la rete portuale devono concorrere al perseguimento dei traguardi climatici di medio-lungo termine sanciti dall'Accordo di Parigi e dal Green Deal europeo. Nel 2023, l'IMO ha adottato una strategia che impone il conseguimento delle emissioni nette zero entro il 2050, fissando tappe intermedie: almeno -20 % entro il 2030 e -70 % entro il 2040 rispetto al 2008. Parallelamente, il pacchetto regolatorio "Fit for 55" dell'Unione introduce vincoli stringenti: integrazione graduale delle emissioni navali nell'EU ETS e, con il Regolamento FuelEU Maritime, imposizione di quote progressivamente crescenti di combustibili a ridotta impronta carbonica tra il 2030 e il 2050.

Contestualmente, il PNIEC conferisce al dominio marittimo un ruolo strategico nella transizione energetica, promuovendo lo sviluppo delle fonti rinnovabili offshore: parchi eolici su fondazioni fisse o galleggianti, progetti di fotovoltaico flottante e valorizzazione del moto ondoso per la produzione di elettricità pulita. All'interno dei porti, risultano prioritari interventi sinergici di mitigazione: elettrificazione delle banchine (cold ironing), programmi di efficientamento energetico mediante

illuminazione LED e mezzi di movimentazione elettrici, oltre all'installazione di impianti fotovoltaici ed eolici sia nelle aree portuali sia in quelle retro-portuali. A tali iniziative si affianca la diffusione di vettori energetici alternativi—bio-GNL, metanolo verde, idrogeno o ammoniaca—nonché la realizzazione di navi di nuova generazione dotate di propulsione ibrida o assistita da vele.

Un ulteriore ambito strategico per la decarbonizzazione riguarda l'integrazione di tecnologie di produzione di energia rinnovabile dal mare, come il moto ondoso, e le correnti di marea. Queste fonti rinnovabili possono contribuire all'autosufficienza delle piccole isole e delle relative comunità energetiche, riducendo l'impronta carbonica complessiva e promuovendo la sostenibilità ambientale delle attività portuali. In tale ottica, è auspicabile incentivare la sperimentazione e l'implementazione di sistemi pilota, anche attraverso collaborazioni tra università, centri di ricerca e imprese tecnologiche del settore delle energie blu.

L'insieme di queste misure determinerà una sensibile riduzione dell'impronta carbonica del sistema marittimo, concorrendo al tempo stesso a migliorare la qualità dell'aria nei centri portuali. Decarbonizzazione e adattamento dovranno procedere in modo integrato, garantendo, da un lato, la resilienza climatica delle infrastrutture e, dall'altro, la progressiva contrazione delle emissioni. Un presidio di coordinamento centrale affidato al CIPOM risulta imprescindibile per assistere le Autorità di Sistema Portuale e gli altri stakeholder nell'armonizzare investimenti, quadro normativo e incentivi verso la piena transizione ecologica del "sistema mare".

In un contesto di cambiamenti climatici sempre più accelerati è fondamentale potenziare la capacità di monitoraggio, previsione e proiezione dell'ambiente marino-costiero attraverso l'incentivazione e il potenziamento dei sistemi di monitoraggio e previsione marina, soprattutto nelle aree costiere e nei siti ecologicamente sensibili. Investire in reti osservative integrate, modellistica operativa previsionale, sia a breve termine che su scala climatica, e infrastrutture digitali per la raccolta e l'analisi dei dati ambientali, permetterà di monitorare costantemente lo stato del mare, prevenire situazioni critiche, valutare l'efficacia delle misure di tutela e rafforzare la resilienza delle comunità costiere agli impatti del cambiamento climatico. In particolare, l'impiego di modelli climatici accoppiati oceano-atmosfera, che simulano le interazioni dinamiche tra atmosfera, oceano e biosfera marina, se sviluppati a risoluzioni adeguate per la fascia costiera (dell'ordine di 1–5 km), permetteranno di valutare con maggiore precisione l'impatto di fenomeni come l'innalzamento del livello del mare, l'aumento della temperatura superficiale marina (fenomeni di ondate di calore), l'acidificazione e i cambiamenti nella stratificazione e nella circolazione costiera. Tali modelli hanno un dettaglio spaziale molto più alto di quello dei modelli CMIP6 correntemente utilizzati per le previsioni climatiche globali.

La necessità di tali modelli specifici per i mari regionali è esplicitamente menzionata negli ultimi rapporti IPCC. Sono in corso iniziative internazionali come MED-CORDEX (Mediterranean Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) in cui vengono coordinate le attività di modellistica climatica sull'area mediterranea a cui contribuiscono anche diversi istituti di ricerca italiana (ENEA, CMCC; ICTP ; OGS). I dati sono pubblici e potrebbero essere utilizzati per una pianificazione più

puntuale delle azioni di adattamento e ove possibile di mitigazione basate su informazioni climatiche certificate e circostanziate.

Questi strumenti sono fondamentali per:

- Identificare zone a rischio di erosione costiera, e a rischio di inondazioni temporanee o permanenti;
- analizzare la vulnerabilità ecologica delle Aree Marine Protette (AMP) agli stress climatici;
- stimare gli effetti dei cambiamenti sulle risorse biologiche e sui servizi ecosistemici;
- supportare la pianificazione adattiva di infrastrutture portuali, insediamenti urbani costieri e strategie di conservazione (sez. 3).

È auspicabile che l'Italia investa nella integrazione dei modelli climatici ad alta risoluzione con i sistemi osservativi marini esistenti, promuovendo l'uso operativo di questi strumenti presso le autorità ambientali, le AMP e i decisori locali. La messa a sistema di osservazioni e modelli ed un monitoraggio puntuale dell'ambiente costiero, incluse vulnerabilità ed esposizione a rischi specifici, permetterà una più puntuale pianificazione di eventi mirati che superino la logica emergenziale. Alcuni passi sono stati intrapresi nel PNRR ICSC, in cui sono incluse attività di modellistica climatica ad alta risoluzione a cui contribuisce gran parte della comunità scientifica italiana (CNR, ENEA, CMCC; OGS; etc) ma è necessario che venga data continuità e sistematicità a questo genere di iniziative.

2. CANTIERISTICA

L'industria cantieristica italiana è un settore che, raggruppando imprese di costruzione e riparazione navale, produttori di sistemi e componenti ad uso marittimo, società di ricerca ed aziende di servizi al settore, genera un'occupazione di circa 70.000 persone (90.000 persone includendo l'occupazione trainata), per un valore della produzione di circa 9 miliardi di euro.

La distribuzione geografica dell'industria nautica in Italia vede la Toscana con il 15,2% la regione con la più alta concentrazione di imprese nautiche nazionali seguita da Liguria (10,5%), Campania (10,3%), Sicilia (10,2%), Marche (8,8%), Lombardia (8,1%), Lazio (7,8%), Veneto (6,4%), Friuli-Venezia Giulia (5,6%), Sardegna (4,3%), Puglia (4,2%), Emilia-Romagna (4,2%), Calabria (1,6%), Piemonte (1,4%), completano Abruzzo, Umbria, Basilicata (0,2%), Trentino-Alto Adige, Molise e Valle d'Aosta con quote inferiori all'1%.

Più della metà delle imprese navali è impegnata nella costruzione di imbarcazioni da diporto o sportive (circa il 55%). La percentuale delle imprese costruttrici di navi e imbarcazioni è di circa il 14% mentre quella relativa ai cantieri navali specializzati in costruzioni metalliche e non metalliche si attesta intorno al 26%.

Il tessuto imprenditoriale si caratterizza per un ridotto numero di lavoratori: più del 73% delle aziende impiega meno di cinque persone spesso a conduzione familiare, circa il 43% sono società a responsabilità limitata, mentre solo l'1,2% sono società per azioni.

Per le realtà dell'industria nautica senza obbligo di bilancio, è possibile stimare che la fascia di fatturato 100.000 - 499.99€ rappresenta circa il 40%. Le fasce superiori a 500.000€ sono limitate a circa il 2,5% per cui tutto il resto è al di sotto dei 100.000€ di fatturato.

Le fasce di fatturato delle aziende per le quali questo dato è noto (circa il 46% del totale) sono distribuite per la maggior parte nella fascia fino a 500k€ (circa il 30%). circa il 6%-8% rientra nella fascia 500.000 - 999.999 € e 1.000.000 – 4.999.999 €. Solamente il 3% ha un fatturato superiore a 5.000.000 e solo la metà di queste ha fatturato superiore a 10.000.000 €.

Nelle prime cinque posizioni della classifica delle aziende del settore dell'industria navale italiana con il fatturato più alto troviamo¹:

- Fincantieri S.p.a.
- Azimut - Benetti S.p.a.
- Ferretti S.p.a
- Sanlorenzo S.p.a.
- The Italian Sea Group S.p.a.

Questo indica come, nonostante l'Italia si confermi da anni il primo Paese al mondo in termini di export di barche e yacht, la maggior parte delle aziende del settore cantieristico non sia in grado di avere laboratori interni di ricerca per sviluppare innovazione di prodotto e di processo. Ciò avviene in un settore che è sempre più soggetto, soprattutto nel settore delle grandi imbarcazioni, alla concorrenza dei competitor asiatici (Cina e Corea in primis).

ENEA può supportare il tessuto delle PMI del settore della navalmeccanica attraverso le seguenti attività di ricerca e sviluppo:

- Ecodesign di processo e prodotto;
- Tecnologie e Materiali avanzati;
- Processi di riparazione, recupero e riciclo;
- Propulsione Carbon Neutral.

Con l'entrata in vigore del regolamento "Ecodesign" Regolamento (UE) 2024/1781, i prodotti immessi sul mercato europeo dovranno sempre di più rispettare i criteri di durabilità, riparabilità e riciclabilità, riducendo l'impatto ambientale lungo tutto il loro ciclo di vita ed introducendo il Passaporto Digitale dei Prodotti, ovvero un sistema informativo che raccoglie dati chiave sulla composizione, impatti ambientali e opzioni di riparazione e riciclo.

¹ Fonte <https://www.contenuti.icribis.com/osservatorio/2024/industria-nautica>

Al fine di mantenere la competitività del tessuto industriale del settore navalmeccanico, le piccole aziende anche sub fornitrici si troveranno a dover sviluppare nuovi prodotti ed utilizzare nuovi materiali e nuove tecnologie per rispondere alle richieste di questo regolamento. ENEA ritiene importante la promozione del regolamento nel settore navalmeccanico e lo sviluppo del passaporto elettronico digitale per tutta la catena di subfornitura.

Per il mantenimento della leadership nazionale della cantieristica navale e da diporto, ENEA ritiene importante l'aggiornamento continuo dello sviluppo, selezione ed utilizzo di nuove classi di materiali, sia compositi che metallici, e delle relative tecnologie di manifattura. In particolare, ENEA considera indispensabile lo sviluppo di:

- materiali compositi a matrice termoplastica ad elevata durabilità e riciclabilità;
- processi di deposizione automatica, compresa la stampa 3D, di materiali compositi per la nautica da diporto (ad esempio di stampi o componenti customizzati a geometria complessa);
- processi di saldatura e manifattura additiva ad elevata efficienza energetica e con integrati sistemi di monitoraggio per promuovere l'alleggerimento e lo "zero defect manufacturing" e ove possibile la manifattura additiva metallica per componenti di grande dimensione;
- acciai e leghe di alluminio a maggiore rapporto resistenza peso in sostituzione delle omologhe tradizionali. A partire dalle imbarcazioni di tipo militare, dove i regolamenti di classificazione permettono da subito maggiori deroghe, all'impiego di nuove leghe e tecnologie di processamento ed assemblaggio, la validazione può promuovere una successiva e graduale applicazione delle soluzioni sviluppate nella cantieristica civile. I maggiori costi iniziali delle materie prime possono essere mitigati dall'impiego di adeguati processi e da un minor peso delle imbarcazioni. I minori spessori dei componenti necessari a garantire resistenza equivalente portano infatti a riduzione del peso complessivo dei materiali necessari e quindi possono portare a benefici in termini di dipendenza da semilavorati low cost del mercato Asiatico a favore di materiali più performanti derivanti da "urban mining" Europeo. Inoltre, garantiscono maggiore "Pay load" e minori emissioni durante la vita utile oltre che durante la realizzazione delle imbarcazioni (minori costi di trasporto, sollevamento ed assemblaggio).
- materiali e tecnologie per coating funzionali anticorrosione, antiattrito, idrofobili e anti fouling applicabili su diverse tipologie di substrato per garantire durabilità, efficienza idrodinamica e riciclabilità dei componenti.
- Multimateriali metallo-composito pienamente riciclabili per applicazioni speciali (resistenza alla fiamma) e giunzioni dissimili metallo – composito per alleggerimento strutturale.

La cantieristica utilizza svariate tipologie di materiali. Se il recupero delle strutture metalliche non è un problema, il riciclo e riparabilità dei materiali compositi, siano essi con rinforzo in fibra di vetro (la maggior parte) che in fibra di carbonio, necessita di essere ulteriormente sviluppato.

ENEA reputa utile lo sviluppo di progettualità intersettoriale con il settore automotive, ma soprattutto aeronautico ed energetico (eolico), in cui l'impiego di materiali altamente performanti a base di fibra di carbonio e di vetro, avviato agli inizi del secolo, potrà diventare nel futuro una fonte di materie prime

seconde per il settore nautico. In prima battuta, questo approccio sarà applicato a componenti di “interiors” e sovrastrutture, con la possibilità di estensione anche all’intera imbarcazione per specifiche classi. In particolare, ENEA propone la promozione e lo sviluppo di:

- Tecnologie di processamento e recupero di materie prime seconde a partire da componenti a fine vita o sfridi di lavorazione provenienti dal settore Aeronautico e dagli impianti eolici in dismissione;
- Sviluppo di processi di verifica strutturale con tecniche non distruttive rapide ed automatizzate per la verifica dello stato di salute delle strutture navali e della corretta riparazione;
- Sviluppo di sensori embedded per il monitoraggio della vita residua e la tracciabilità dei materiali per un corretto riciclo.

3. GESTIONE RIFIUTI RECUPERATI DAL MARE

Oggi la plastica rappresenta il 95% dei rifiuti rilasciati in mare aperto, sui fondali e sulle spiagge del Mediterraneo e proviene principalmente da Turchia e Spagna, seguite da Italia, Egitto e Francia. Complessivamente ogni anno finiscono nel Mediterraneo 229 mila tonnellate di plastiche. Secondo l’Unesco invece, da 8 a 10 milioni di tonnellate di plastica finiscono negli oceani ogni anno, costituendo fino all’80% del cosiddetto “marine litter”. La raccolta e il riciclo meccanico della plastica marina sono notoriamente complicati a causa della natura eterogenea dei materiali, che possono contenere vari polimeri e contaminanti come sabbia, sale e alghe. Le tecnologie di riciclo chimico possono invece essere un’arma potente per il trattamento di questi rifiuti. La pirolisi si presenta come una soluzione efficace in grado di gestire grandi quantità di rifiuti altamente eterogenei e non pretrattati. Questo processo condotto a temperature superiori ai 400°C e in assenza di ossigeno, decompone la plastica recuperata in mare in olio e gas ricchi di idrocarburi. Questi prodotti oltre ad autosostenere il processo sono utilizzabili come combustibile o per la produzione di nuove plastiche, vernici, solventi e una vasta gamma di composti utili all’industria.

In tema di raccolta e riciclo si suggerisce di:

- Ampliare la rete logistica e infrastrutturale per la gestione dei rifiuti raccolti in mare (ad esempio: isole ecologiche portuali, siti di trattamento)
- Introdurre incentivi per la raccolta e valorizzazione dei rifiuti marini, soprattutto plastici, attraverso riciclo meccanico o chimico
- Certificare la plastica recuperata dal mare come materia prima seconda per usi non alimentari e incentivarne l’uso in applicazioni industriali
- Semplificare le pratiche amministrative per lo sbarco e il conferimento dei rifiuti pescati
- Introdurre strumenti digitali per segnalare e tracciare i rifiuti in mare
- Monitorare la composizione e il flusso dei rifiuti marini e rafforzare i protocolli per la caratterizzazione di tali rifiuti
- Prevedere campagne formative presso gli stakeholder

4. INDUSTRIA ARMATORIALE

L'industria armatoriale italiana conta su circa 1250 navi e garantisce oltre 42mila posti di lavoro diretti a cui vanno aggiunti gli addetti a terra. Il trasporto marittimo, diversamente dalle altre infrastrutture (oleodotti e gasdotti), è in grado di assicurare la flessibilità delle fonti di approvvigionamento.

Tuttavia, secondo stime fornite da Assarmatori, le compagnie di navigazione, a causa di un quadro tecnologico e infrastrutturale indipendente dalla loro volontà, non avranno la possibilità di modificare il proprio piano energetico e saranno soggette a costi aggiuntivi di oltre il 25-30% per tratta. Il Regolamento FuelEU Maritime richiede che a partire dal 2025, per ciascuna nave, sia calcolato un indice di intensità dei gas serra (GHG) medio annuo che non dovrà superare un valore di target che si ridurrà significativamente nel corso degli anni (dal 2% nel 2025 all'80% nel 2050 rispetto ad un benchmark di 91,16 grCO₂/MJ). Nel caso in cui l'indice di intensità di GHG superi il target, la Compagnia dovrà pagare una sanzione proporzionale al costo dei combustibili rinnovabili che la nave avrebbe dovuto utilizzare per soddisfare il Regolamento. Inoltre, a partire dal 2030 il regolamento richiede che le navi portacontainers e le navi passeggeri ormeggiate nei porti UE/SEE ai quali si applicherà il "Regolamento sull'infrastruttura per i combustibili alternativi" (AFIR) si colleghino alle strutture di alimentazione elettrica da terra (OPS) e le utilizzino per soddisfare tutte le esigenze di energia durante l'ormeggio. Anche in questo caso, se il requisito non è soddisfatto, la Compagnia sarà tenuta a pagare una sanzione calcolata in base alle ore trascorse in porto e al fabbisogno totale di energia elettrica della nave all'ormeggio.

In attesa di un'adeguata disponibilità di combustibili alternativi (Bio, GNL, GPL, sintetici) e dell'adeguamento della flotta ai nuovi sistemi di propulsione, unico modo che hanno gli armatori per rientrare nei limiti di emissione è una riduzione della velocità di trasporto. Tuttavia, questa soluzione deve essere compatibile con le esigenze di mercato, specialmente per il trasporto passeggeri e per il trasporto di merci deperibili.

ENEA considera fondamentali alcune azioni mirate a:

- Sviluppo di bio combustibili/ e combustibili alternativi (es. HVO, metanolo da fonti rinnovabili, idrogeno verde (prodotto da elettrolisi alimentata da fonti rinnovabili), ammoniaca verde, che non contiene carbonio e può essere utilizzata nei motori a combustione interna opportunamente modificati o in celle a combustibile di nuova generazione).
- Sviluppo Sensori RFID avanzati (etichette passive sensibili e relativi lettori) per monitorare fattori fisici (temperatura, irraggiamento solare, ecc.) e chimici (umidità, presenza di vapori o gas), con applicazione nella gestione della catena del freddo e nel controllo delle merci deperibili.
- Sviluppo di combustibili alternativi. In particolare, alla possibilità di usare gli oli di pirolisi delle plastiche recuperate in mare o dall'acquacoltura o da altri settori come combustibili marini.
- Introduzione di sistemi di propulsione alternativi ai motori diesel tradizionali. Tra le soluzioni attualmente in fase di sperimentazione o implementazione vi sono:

- propulsione ibrida diesel-elettrica, che consente una gestione più flessibile ed efficiente dell'energia a bordo;
- sistemi full-electric, particolarmente adatti a traghetti e unità impiegate su tratte brevi;
- celle a combustibile, in particolare quelle alimentate a idrogeno, ammoniaca o metanolo, che permettono una produzione di energia elettrica a bordo a zero emissioni locali.

Queste soluzioni pongono importanti sfide tecnologiche, economiche e infrastrutturali, ma costituiscono anche un'opportunità strategica per promuovere la competitività e la sostenibilità del trasporto marittimo, nonché per favorire la crescita di una filiera industriale innovativa che coinvolga cantieri navali, fornitori di tecnologie, istituti di ricerca e operatori logistici.

5. SICUREZZA

Sviluppo della Capacità Subacquea

Il riconoscimento della "quinta dimensione" (subacquea) è strategico, ma richiede azioni concrete. La vulnerabilità delle infrastrutture sottomarine (cavi, gasdotti) è una minaccia crescente. Si suggerisce di prevedere nel prossimo piano di:

- investire in tecnologie e risorse per una mappatura dettagliata dei fondali e delle infrastrutture sottomarine di interesse nazionale;
- rafforzare le capacità nazionali di intervento e riparazione in ambiente subacqueo profondo, sia in termini di mezzi (ROV, UUV autonomi) che di personale specializzato (sommozzatori, tecnici);
- promuovere accordi bilaterali e multilaterali con partner chiave per la protezione congiunta delle infrastrutture sottomarine transnazionali, inclusa la condivisione di best practice e intelligence.

Rafforzamento della Cybersicurezza Marittima

La vulnerabilità delle infrastrutture critiche agli attacchi cibernetici è una questione da tenere in grande considerazione. L'interdipendenza tra istituzioni e industria è cruciale. Si suggerisce di sviluppare maggiormente la resilienza cibernetica delle aziende private che operano nel cluster marittimo (porti, compagnie di navigazione, logistica), sviluppando programmi specifici di sensibilizzazione e formazione.

Contenimento della Pesca Illegale, Non Dichiarata e Non Regolamentata (IUU)

La pesca IUU è identificata come una seria minaccia agli ecosistemi, alle risorse ittiche e all'equilibrio socio-economico, con perdite per l'ambiente e per i pescatori che operano legalmente. Essendo, però, una sfida globale, l'Italia non può operare come singolo Paese, ma dovrebbe fare riferimento ad accordi internazionali esistenti, quale ad esempio il "Global Record of Fishing Vessels, Refrigerated Transport Vessels and Supply Vessels", sviluppato in ambito FAO.

Protezione degli Asset Strategici (Porti)

Elaborare piani di sviluppo a lungo termine per i porti strategici, garantendo che gli investimenti siano allineati agli interessi nazionali di sicurezza e autonomia.

Sistemi Previsionali meteo-marini Affidabili e Innovativi

L'efficace attuazione delle strategie delineate richiede, quale presupposto essenziale, la disponibilità di sistemi previsionali di nuova generazione, affidabili e pienamente interoperabili. Solo strumenti in grado di integrare osservazioni in tempo reale e modelli previsionali avanzati consentono una gestione tempestiva e consapevole dei rischi marittimi, rafforzando la prontezza operativa di fronte a scenari complessi e riducendo l'esposizione di infrastrutture e operatori a eventi inattesi.

Il Piano 2026-2028 dovrà configurarsi quale documento operativo, una road map dettagliata e coerente, scandita da obiettivi precisi, concretamente raggiungibili e valutabili. Risulterà indispensabile una chiara attribuzione delle responsabilità, unitamente a un'adeguata destinazione di risorse finanziarie, che possano sostenere investimenti in tecnologie, formazione specialistica e coordinamento istituzionale. Affinché l'attuazione risulti realmente efficace si raccomanda l'istituzione di tavoli tecnici permanenti, sia interministeriali sia interforze, per ciascuna area di rischio individuata (ad esempio, cybersicurezza marittima, tutela delle infrastrutture subacquee, contrasto alla pesca IUU), fissando obiettivi specifici e metriche di valutazione stringenti. Risulta fondamentale inoltre sviluppare e adottare protocolli operativi condivisi, pensati per la gestione integrata di emergenze e minacce complesse che richiedano l'intervento coordinato di molteplici soggetti istituzionali e operativi. Si ritiene altresì prioritario investire nello sviluppo di una piattaforma tecnologica evoluta, capace di abilitare la condivisione in tempo reale di dati e informazioni tra tutte le amministrazioni coinvolte, assicurando elevati standard di sicurezza e riservatezza.

6. DIMENSIONE SUBACQUEA E RISORSE GEOLOGICHE DEI FONDALI

Le risorse geologiche dei fondali marini stanno guadagnando sempre più attenzione come fonte potenziale di minerali e metalli preziosi, cruciali per soddisfare la crescente domanda globale e per le tecnologie legate all'energia pulita, quali rame, manganese e cobalto. Organizzazioni come l'Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA) ha sostenuto la necessità di minerali critici per garantire la stabilità della catena di approvvigionamento per le tecnologie pulite e garantire il processo di transizione energetica verde per combattere gli impatti dei cambiamenti climatici (1). La Banca Mondiale prevedono un aumento esponenziale della domanda di minerali critici, stimando che entro il 2050 potrebbe crescere del 450% se si vogliono raggiungere gli obiettivi dell'Accordo di Parigi (2).

Tuttavia, numerosi studi, inclusi i rapporti della The Ocean Foundation (3), sollevano seri dubbi sulla sostenibilità economica del Deep Sea Mining (DSM). Emergono rischi ambientali significativi, sfide tecniche e finanziarie notevoli, e incertezze di mercato. Vengono evidenziate l'opinabilità dei modelli finanziari del settore, le difficoltà nell'estrazione a grandi profondità e la volatilità dei prezzi dei minerali,

che non garantisce profitti nonostante l'aumento della produzione di veicoli elettrici, come riportato dalla stessa International Seabed Authority (ISA) (4).

Il settore del DSM è inoltre ostacolato da normative incomplete, elevati rischi reputazionali e incertezze sui costi legati a possibili danni agli ecosistemi oceanici. La crescente pressione internazionale, con 25 Paesi (5) e numerose aziende (6) che chiedono un divieto o una moratoria, unita all'esitazione delle istituzioni finanziarie, mette ulteriormente in discussione la sua fattibilità (7).

Mentre i sostenitori del DSM si concentrano sui potenziali guadagni economici su larga scala, i costi e i benefici effettivi rimangono in gran parte sconosciuti. L'operare a migliaia di metri sotto la superficie marina comporta rischi enormi sia per gli operatori che per i delicati e ancora poco conosciuti ecosistemi marini, con la possibilità di distruggere flora e fauna abissali prima ancora di averle studiate. A differenza dell'estrazione terrestre, per le miniere sottomarine non esiste ancora una conoscenza equivalente sulla mitigazione degli impatti e sul ripristino. Un rapporto di Planet Tracker (8) sostiene che gli ecosistemi marini profondi sono "essenzialmente non ripristinabili" e che i costi di ripristino sarebbero proibitivi.

L'Italia, con il suo vasto litorale e la sua storia marittima, deve affrontare questa nuova frontiera con la massima cautela, bilanciando la ricerca di risorse con l'impegno per la conservazione e la sostenibilità del suo ricco patrimonio di biodiversità e culturale.

La via responsabile da seguire può essere quella di spostare l'attenzione su alternative più sostenibili, quali investire nell'economia circolare per promuovere il riciclo e il riutilizzo dei materiali già presenti nella catena di approvvigionamento e sviluppare e adottare tecnologie alternative per i materiali necessari nella produzione di batterie e altri prodotti tecnologici, sviluppare materiali alternativi che possano sostituire quelli estratti dai fondali marini, riducendo così la dipendenza da questi ultimi.

In linea con il Piano d'Azione per l'Economia Circolare del 2020 (9) e per attuare gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile 2030, l'UE sta intensificando gli interventi per promuovere l'efficienza delle risorse e passare dall'economia lineare a quella circolare, concentrandosi sulla progettazione ecocompatibile, sul riciclaggio e sulla sostituzione al fine di rendere i prodotti quanto più efficienti possibile in termini di risorse ed energia. Ciò contribuirà a ridurre la necessità di materie prime critiche senza compromettere la disponibilità, le prestazioni e l'accessibilità economica dei prodotti e a consentire il riciclo e il riutilizzo delle materie prime critiche in nuovi prodotti, minimizzando la necessità di estrazione di minerali grezzi.

Parallelamente è necessario approfondire le ricerche e la caratterizzazione degli ambienti sottomarini di interesse (es. le aree di vents idrotermali del Tirreno) e gli aspetti geochimici, biologici ed ecologici, per fornire dati quantitativi che possano guidare un dibattito informato sulla sostenibilità del deep sea mining.

Insomma, è imperativo investire nella scienza e nell'innovazione per sviluppare alternative sostenibili che consentano di andare al passo con l'innovazione ma che proteggano anche gli ecosistemi marini per il benessere a lungo termine dei nostri mari e del nostro pianeta.

Polo nazionale della subacquea

Va aggiornato il punto relativo a Polo Nazionale della subacquea definendo le mansioni e competenze.

Autorità nazionale per il controllo delle attività subacquee

In base alla recente proposta del ddl 1465 (Sicurezza per le attività subacquee) che prevede l'istituzione di una Agenzia per la sicurezza dell'attività subacquee (ASAS) in cui ENEA è stata chiamata ad esprimere la propria posizione (audizione del 27/05/2025), si ribadisce anche nel Piano del Mare la necessità di riferirsi nel piano del mare ad un eventuale Autorità nazionale per la gestione della sicurezza subacquea (o ASAS) per quel che concerne le attività subacquee industriali, loro regolamentazione e il riconoscimento della figura professionale degli OTS. Essendo ENEA Ente di ricerca e innovazione, ribadisce anche nell'aggiornamento del Piano del Mare, la necessità di distinguere le attività subacquee industriali da quelle di ricerca scientifica, in quanto caratterizzate da operatività ed obiettivi nettamente distinti, nello specifico l'attività subacquea svolta in ambito scientifico richiedono una flessibilità in funzione dei progetti da svolgere e che quindi non possono ricadere sotto il controllo di Autorità nazionale per la gestione della sicurezza subacquea (o ASAS).

A tal proposito, infatti, gli operatori scientifici subacquei seguono le linee guida del D.M. MASE del 05/03/2024, adottate nelle procedure di sicurezza seguite da Enti di Ricerca e Università all'interno dei loro Documenti di Valutazione del Rischio (DVR). Inoltre, in analogia con il processo di normazione UNI che definisce due figure professionali ben distinte, l'OTS (gruppo di lavoro: sicurezza attività subacquee e iperbariche industriali, norme UNI-11366 1-4*) e l'OSS (gruppo di lavoro: sicurezza attività scientifiche subacquee, norme UNI 11948 1-2 **) si sottolinea la necessità di applicare una netta distinzione nelle vigilanze di OTS (tecnici), da parte di un eventuale Agenzia (o ASAS), ben distinti da OSS (scientifici) che svolgono tipologie di attività molto diverse con rischi ben distinti. Per garantire un allineamento del ddl 1462 con i gruppi di lavoro UNI, e dato quello che sarà il focus primario dell'ASAS rivolto alla sicurezza alle attività subacquee svolte da OTS in ambito industriale, nonché l'esistenza delle linee guida per OSS definite nel DM del 05/03/2024, si ritiene necessario togliere il riferimento ad attività scientifiche subacquee da questo punto del piano del mare.

7. TURISMI DEL MARE

Le attività legate al Turismo del Mare possono subire impatti rilevanti dalla variabilità climatica e i suoi cambiamenti: aumenti della temperatura del mare, proliferazione di meduse, incremento del numero di notti tropicali. Questo può richiedere una più attenta pianificazione della stagione turistica, anche immaginando negli anni a venire una possibile diversa stagionalità degli afflussi turistici, più concentrati in stagioni più miti, soprattutto sui litorali in cui il surriscaldamento globale renderà più sfavorevoli le condizioni per attività sportive, balneari e ambientali

Strumenti innovativi di cui dotarsi

Il Servizio Climate Change del programma europeo di Osservazione della Terra Copernicus (<https://climate.copernicus.eu>) mette a disposizione in modo libero e gratuito le previsioni climatiche relative alle stagioni a venire (da 1 a 6 mesi) prodotte dai maggiori centri di ricerca europei.

Il Paese dovrebbe dotarsi di un sistema coordinato che metta a disposizione delle amministrazioni centrali e regionali informazioni utili, fruibili ed intelligibili anche sulle condizioni climatiche attese per le prossime stagioni in modo da permettere agli operatori del settore e alle amministrazioni locali una anticipata pianificazione delle attività legate al turismo del mare che tengano conto delle più aggiornate previsioni per i mesi a venire. Inoltre, per le scale temporali più brevi, dotarsi di un sistema nazionale di previsioni meteo-marine ad alta risoluzione permetterebbe di aumentare la sicurezza delle attività turistiche e sportive in mare.

Si ravvisa, infine, la necessità di un osservatorio efficace e centralizzato sul turismo che permetta di raccogliere e rendere disponibili dati sulla effettiva pressione ambientale ed energetica delle attività turistiche a livello nazionale e per macroaree di interesse.

8. ECOSISTEMI E LE AREE MARINE PROTETTE

È auspicabile un riferimento esplicito ai sistemi di monitoraggio e previsione marina, strumenti fondamentali per una gestione ecosistemica efficace e basata su dati oggettivi. In questa prospettiva, l'incentivazione e il potenziamento dei sistemi di monitoraggio e previsione marina, soprattutto nelle aree costiere e nei siti ecologicamente sensibili, rappresentano strumenti imprescindibili per una governance informata e adattiva degli ecosistemi marini. Investire in reti osservative integrate, modellistica operativa previsionale, sia a breve termine che su scala climatica, e infrastrutture digitali per la raccolta e l'analisi dei dati ambientali, permette di monitorare costantemente lo stato del mare, prevenire situazioni critiche, valutare l'efficacia delle misure di tutela e rafforzare la resilienza delle comunità costiere agli impatti del cambiamento climatico.

Aree marine protette

Il testo del precedente Piano del Mare è generico e carente nei riferimenti tecnici-operativi, in particolare per quanto riguarda il monitoraggio ambientale e la previsione nelle Aree Marine Protette (AMP). Un'integrazione tecnica sarebbe molto utile e renderebbe il "Piano del mare" più concreto, operativo e allineato agli standard scientifici internazionali. Inoltre, le Aree Marine Protette (AMP), pur essendo istituite per conservare la biodiversità, non sono isolate dagli impatti del cambiamento climatico. Anzi, spesso sono tra le zone più vulnerabili, proprio perché ospitano habitat sensibili. Il testo attuale non esplicita questo collegamento.

In un'ottica di gestione adattiva ed efficace delle Aree Marine Protette, è fondamentale potenziare i sistemi di monitoraggio e previsione ambientale, adottando tecnologie integrate che includano:

- sensori in situ (boe multiparametriche, strumenti CTD, fluorimetri, sonde per ossigeno disciolto);
- osservazioni da satellite per la temperatura superficiale, clorofilla, torbidità e correnti;
- modelli numerici operativi per la previsione di parametri fisico-chimici ed ecologici (es. temperatura, ossigeno, bloom algali, circolazione costiera);

- reti di osservazione per la fauna marina (cetacei, pesci), integrabili con tecniche di eDNA per il monitoraggio della biodiversità

Tali sistemi permetterebbero di:

- valutare la vulnerabilità delle AMP agli impatti dei cambiamenti climatici (riscaldamento, acidificazione, stratificazione, ipossia);
- individuare tempestivamente episodi di inquinamento, anche tramite modelli di dispersione in caso di sversamenti accidentali (oil spill);
- fornire una base scientifica oggettiva per regolamenti e zonazioni aggiornati, differenziando la protezione in base alla pressione ambientale.

Il rafforzamento di queste capacità operative, attraverso una rete nazionale di osservatori marini costieri, coordinati da enti di ricerca, garantirebbe coerenza con le politiche europee e renderebbe le AMP un laboratorio vivo della transizione ecologica marina.

Le Aree Marine Protette non sono immuni agli effetti dei cambiamenti climatici: anzi, l'aumento della temperatura marina, l'acidificazione, la perdita di ossigeno e le alterazioni della circolazione costiera mettono a rischio diretto la funzionalità degli ecosistemi che le AMP intendono preservare. I fenomeni più frequenti includono:

- bleaching (sbiancamento) delle gorgonie e coralli costieri;
- regressione delle praterie di Posidonia oceanica;
- aumento della frequenza di "mass mortality" in organismi bentonici sensibili;
- tropicalizzazione degli ecosistemi costieri con ingresso di specie non indigene (Lessepsiane e non solo);
- alterazioni nella disponibilità di habitat e nei cicli di vita delle specie marine.

Per questo motivo, è indispensabile che il sistema delle AMP sia integrato in una strategia nazionale di adattamento climatico marino, dotata di strumenti di monitoraggio continuativo e modellazione previsionale, utili a:

- identificare hotspot di vulnerabilità climatica;
- definire soglie critiche di rischio ecologico;
- aggiornare periodicamente le misure gestionali (zonazioni, limiti, accessi) in funzione di scenari climatici previsionali.

I modelli di circolazione attuali implementati a risoluzioni adatte per queste regioni sono in grado di simulare l'evoluzione futura della colonna d'acqua (temperatura, stratificazione), delle correnti e del trasporto di sedimenti o contaminanti, offrendo così uno strumento di supporto alle decisioni locali per adattare efficacemente la gestione delle AMP.

In tal senso, occorre promuovere anche la formazione degli enti gestori per l'uso attivo di dati previsionali e lo sviluppo di piani di adattamento locali, coerenti con le politiche del Green Deal europeo e della Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

9. PESCA E ACQUACOLTURA

Pesca

Alla luce delle più recenti visioni di bioeconomia circolare, si ritiene opportuno segnalare alcuni aspetti che contribuiscono a rendere maggiormente sostenibili, dal punto di vista industriale e ambientale, le attività di estrazione ed utilizzo delle risorse ittiche. Non si fa cenno nel Piano delle attività di gestione del pescato non commercializzabile né dei residui di lavorazione delle risorse avviate ai processi di trasformazione industriale.

Si tratta di volumi enormi dalle interessanti proprietà biologiche. Nell'ambito di quanto riportato in tema di Blue Bioeconomy è di crescente interesse dell'industria l'orientamento ad utilizzare i residui della pesca come fonte di materie prime seconde per utilizzo successivo nei settori nutraceutico, farmaceutico e cosmeceutico.

Tali attività trovano complementarità rispetto ai classici attuali utilizzi orientati sostanzialmente ai settori feed e produzione di biogas.

In questo senso, le attività che vedranno crescente interesse da parte dell'industria, oltre a richiamare il perseguimento di diversi obiettivi fissati dall'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile quali il Goal 3 (*Good health and well-being*), il Goal 12 (*Sustainable consumption and production*) e il Goal 14 (*Life Below Water*), propongono un approccio tipicamente riconducibile alla Bioeconomia Circolare, che può coinvolgere differenti filiere di produzione (*Simbiosi Industriale*) consentendo l'accrescimento della competitività e sostenibilità delle stesse derivanti dalla riduzione delle ricadute ambientali e dei volumi economici che si legano alle attuali necessità di smaltimento dei residui che derivano dalle attività ittiche.

Acquacoltura

Gli scenari prossimi di sviluppo demografico indicano un forte aumento della concentrazione di abitanti in grandi zone metropolitane. Ciò comporterà l'esigenza di mutare anche alcuni processi di approvvigionamento di beni alimentari freschi e prodotti localmente, ove possibile. Accanto alla classica attività produttiva legata ai grandi impianti di acquacoltura è di crescente interesse dell'industria lo sviluppo di impianti taylorizzati che si basano sulla tecnologia acquaponica. Si tratta di una tecnologia che prevede l'allevamento congiunto di specie ittiche e varietà vegetali in un sistema circolare ove i residui di un processo sono utilizzati come materia prima seconda per sostenere l'altro con l'obiettivo di tendere a zero waste. L'associazione con sistemi di fornitura di energia rinnovabile e di recupero della risorsa idrica alla fine del processo ne costituisce un modello virtuoso di produzione

avanzata di fonti proteiche e vegetali in situ, ove vengono consumate, evitando al minimo le costose fasi di logistica e conservazione. Tali soluzioni si rivelano interessanti in particolare nell'ambito di contesti urbani complessi in una visione moderna rigenerativa urbana.

Nota a margine: non viene segnalata in questo contesto l'emergenza del granchio blu e le possibili soluzioni che si potrebbero mettere a patrimonio in quanto esiste un Commissariato per l'Emergenza dedicato che immaginiamo possa essere l'interlocutore istituzionale indicato.

10. ROTTE COMMERCIALI

Il Mediterraneo, tornato baricentro dei flussi Est-Ovest e piattaforma di “near-shoring” europeo, deve essere presidiato da rotte commerciali digitali, sostenibili e resilienti che assicurino all'Italia (i) sicurezza negli approvvigionamenti, (ii) leadership nei corridoi TEN-T, (iii) vantaggi competitivi per la manifattura esportatrice, in coerenza con gli obiettivi del CIPOM e del Green Deal.

Si propongono le seguenti azioni:

- Copertura al 100 % dei gate portuali con sensori IoT per tracking in tempo reale di container, mezzi e persone; dati disponibili via API pubbliche (“open port data-hub”)
- Collegamenti intermodali mare-terra. Sviluppare dry-ports e “navette ferroviarie” quotidiane fra porti e interporti Nord-Sud.
- Sostenibilità e decarbonizzazione delle flotte.
- Green Corridors con bunker bio-LNG, metanolo verde e ammoniaca
- Diffusione cold-ironing (OPS)
- Monitoraggio intelligente dei flussi. Sviluppo di una o più piattaforme Digital Maritime Twin: AI predittiva su traffici, congestione e CO₂, integrata con sensori IoT e AIS per visibilità end-to-end.