

SCENARI E PROSPETTIVE PER LE INFRASTRUTTURE SOTTOMARINE: QUALE RUOLO PER L'ITALIA NEL MEDITERRANEO



Ricerca svolta da

SDA Bocconi
SCHOOL OF MANAGEMENT
SUSTAINABILITY LAB
BLUE ECONOMY MONITOR

in collaborazione con

INTESA  **SANPAOLO**



*Scenari e prospettive per le infrastrutture sottomarine:
quale ruolo per l'Italia nel Mediterraneo* © 2026 is
licensed under CC BY 4.0 To view a copy of this
license, visit:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

È dunque possibile riprodurre, distribuire, trasmettere
e adattare liberamente dati e analisi, anche a scopi
commerciali, a condizione che venga citata la fonte
come segue:

*Scenari e prospettive per le infrastrutture sottomarine:
quale ruolo per l'Italia nel Mediterraneo (2026)*

SCENARI E PROSPETTIVE PER
LE INFRASTRUTTURE SOTTOMARINE:
QUALE RUOLO PER L'ITALIA
NEL MEDITERRANEO

Prefazione

“La **Blue Economy** è uno dei **principali trend trasformativi** dell'economia e della società, capace di generare **impatti positivi** per lo **sviluppo** del nostro **Paese**, per la salute dei mari e degli oceani e per la **sfida** del **cambiamento climatico**. L'Italia, grazie alla sua **posizione strategica** nel Mediterraneo, alla sua forte **tradizione portuale** ed alle **importanti risorse marittimo-costiere**, ha il potenziale per essere un **leader globale nel settore**. Tra gli obiettivi dell'**Osservatorio sulla Blue Economy e Fondali Marini**, c'è quello di **sviluppare ecosistemi** che coinvolgano **ricerca scientifica, Università, istituzioni, aziende**, ed **attivare azioni** di valore che generino grande **impatto nel medio-lungo termine**.”

Elisa Zambito Marsala

Responsabile Education Ecosystem and Global Value Programs

Intesa Sanpaolo



“ La ricerca analizza un settore economico di grande rilevanza per l'economia italiana grazie alla posizione geografica, alle expertise di una filiera industriale sempre più specializzata e a politiche mirate. L'underwater economy è in rapido sviluppo su scala mondiale, spinta anche da interessi strategici di tipo geopolitico, come rimarcato dal rilevante ruolo del comparto militare, ma soprattutto da iniziative commerciali di operatori su scala internazionale fra cui quelli a supporto della filiera energetica, delle telecomunicazioni, della diversificazione degli approvvigionamenti alimentari. La ricerca analizza le prospettive e i potenziali scenari dell'economia sottomarina nel Mediterraneo, con focus specifico sui riflessi economici, industriali e geopolitici per l'Italia. L'obiettivo dello studio è quello di permettere di comprendere e favorire l'anticipazione delle esigenze di un settore in rapida espansione e orientare gli investimenti pubblici e privati verso infrastrutture subacquee strategiche per sicurezza energetica, autonomia industriale e sviluppo tecnologico. ”

Francesco Perrini

Associate Dean for Sustainability
e Direttore del Blue Economy Monitor,
SDA Bocconi School of Management



Chi siamo



Intesa Sanpaolo è uno dei principali gruppi bancari in Europa, ha un modello di business ben diversificato e resiliente, si posiziona ai vertici mondiali per impatto sociale, supporta i clienti nella transizione sostenibile, si impegna per la decarbonizzazione e promuove la cultura e l'innovazione.

Intesa Sanpaolo è leader in Italia in tutti i settori di attività (retail, corporate e wealth management). Il Gruppo offre i propri servizi a circa 13,9 milioni di clienti avvalendosi di una rete di oltre 2.600 sportelli presenti su tutto il territorio nazionale con quote di mercato non inferiori al 10% nella maggior parte delle regioni.

Intesa Sanpaolo ha una presenza internazionale strategica, con oltre 900 sportelli e circa 7,5 milioni di clienti, incluse le banche controllate operanti nel commercial banking in 12 Paesi in Europa centro-orientale e in Medio Oriente e Nord Africa e una rete internazionale specializzata nel supporto alla clientela corporate in 24 Paesi, in particolare nel Medio Oriente e Nord Africa e in quelle aree in cui si registra il maggior dinamismo delle imprese italiane.

Contatti

blueeconomymonitor@intesasanpaolo.com



SDA Bocconi School of Management è la scuola internazionale che guida la trasformazione delle persone per influenzare il futuro degli individui, delle organizzazioni e della società. Al campus urbano di Milano, il più sostenibile al mondo, si aggiungono una sede a Roma e un hub pan-asiatico a Mumbai.

L'offerta formativa di SDA Bocconi School of Management è costruita sulla base di un'attività di ricerca rigorosa e originale e comprende MBA, Master ed Executive Master specialistici, formazione manageriale a catalogo e progettata con le aziende.

Per il ranking di Bloomberg Business Week, SDA Bocconi è la seconda business school d'Europa. I più recenti ranking del Financial Times la collocano al primo posto al mondo per la formazione manageriale "su misura" (custom education) e al sesto posto in Europa tra le business school.

Contatti:

info@sdabocconi.it

SDA Bocconi School of Management

Sustainability Lab

Blue Economy Monitor

Gruppo di lavoro SDA Bocconi School of Management

Oliviero Baccelli
Stefano Riela

Gruppo di lavoro Intesa Sanpaolo

Gianni Cavallina
Thomas Bestonzo

Settembre 2026

Intesa Sanpaolo e SDA Bocconi School of Management hanno avviato il Blue Economy Monitor con l'obiettivo di accrescere la consapevolezza pubblica sull'importanza dell'economia del mare, favorire la diffusione di buone pratiche, elaborare programmi di respiro internazionale capaci di generare iniziative di business ad alto impatto, promuovere lo sviluppo di competenze professionali e programmi divulgativi e di formazione.

Il Blue Economy Monitor ha realizzato diverse ricerche, inquadra il QR code per scaricarle.



SRM monitora l'economia dei trasporti marittimi e della logistica attraverso un osservatorio permanente dedicato. Inquadra il QR code per consultare i Rapporti Annuali sulla Maritime Economy.



Indice

Sommario esecutivo		2
1	Introduzione e obiettivi della ricerca	6
2	Definizione e perimetro dell'underwater economy	9
3	I diversi livelli di competenza regolatoria dell'economia sottomarina	11
4	L'impatto delle nuove tecnologie sull'economia subacquea	15
5	L'impatto della transizione energetica sulle infrastrutture sottomarine per la produzione e per la trasmissione di elettricità	20
6	La rapida evoluzione delle infrastrutture sottomarine per le comunicazioni	24
6.1.	Il ruolo dei cavi sottomarini	25
6.2.	La rete mondiale	27
6.3.	L'IA come driver di crescita della rete sottomarina	28
6.4.	La questione ambientale	29
6.5.	La geopolitica della rete sottomarina	30
6.6.	Il danneggiamento dei cavi sottomarini	32
6.7.	I progetti per la realizzazione di data center sottomarini	34
6.8.	Il Mar Mediterraneo	35
6.9.	Le opportunità per il sistema Italia	36

7	La crescente rilevanza delle infrastrutture minerarie sottomarine	37
7.1.	I minerali disponibili nei fondali marini	38
7.2.	La questione ambientale	40
7.3.	Le regole sull'esplorazione e lo sfruttamento	41
7.4.	La posizione dell'UE	43
7.5.	Il Mar Mediterraneo	44
7.6.	Le opportunità per il sistema Italia	45
8	Lo sviluppo delle infrastrutture sottomarine a supporto dell'alghicoltura e del bio-farming	46
8.1.	Il bio-farming sottomarino	47
8.2.	Come funzionano le biosfere	48
8.3.	I vantaggi del bio-farming sottomarino	49
8.4.	Il caso italiano di Nemo's Garden	50
8.5.	Le criticità del bio-farming sottomarino	51
8.6.	Le potenzialità dell'alghicoltura	52
8.7.	L'alghicoltura nell'UE	53
8.8.	Il Mar Mediterraneo	56
8.9.	Le opportunità per il sistema Italia	56
9	Le infrastrutture per lo stoccaggio dell'anidride carbonica	58
9.1.	Il ruolo della tecnologia e della normativa a supporto del Carbon Capture	59
9.2.	Il progetto di Carbon Capture a Ravenna	62
10	Raccomandazioni di policy per rafforzare il ruolo dell'economia sottomarina a supporto dello sviluppo sostenibile	63
Bibliografia		68
Acronimi e definizioni		71

Sommario esecutivo

La ricerca analizza le prospettive e i potenziali scenari dell'economia sottomarina¹ nel Mediterraneo, con focus specifico sui riflessi sociali, industriali e geopolitici per l'Italia. L'obiettivo è comprendere e anticipare le esigenze di un settore in rapida espansione e orientare gli investimenti pubblico-privati verso infrastrutture subacquee strategiche per sicurezza energetica, autonomia industriale e sviluppo tecnologico.

Il rapido sviluppo del settore è guidato da interessi di sicurezza nazionale, come rimarcato dal rilevante ruolo del comparto militare, ma anche da iniziative commerciali di operatori su scala internazionali, oltreché da interessi geopolitici – come testimoniato dal Piano Mattei del Governo Italiano e dal programma Global Gateway dell'UE - che portano ad interventi di cofinanziamento pubblico, senza i quali alcuni settori non verrebbero sviluppati.

L'economia sottomarina comprende le attività di esplorazione, gestione e utilizzo dello spazio subacqueo a fini economici e ambientali ed è in continuo sviluppo. Questa evoluzione è trainata da:

- crescita demografica e del commercio globale,
- necessità di mitigare i cambiamenti climatici,
- transizione energetica e innovazione tecnologica,
- nuove dinamiche geopolitiche legate al controllo delle risorse marine.

Il quadro normativo della componente dell'economia del mare definibile come economia sottomarina è disciplinato principalmente dalla Convenzione delle

Nazioni Unite sul Diritto del Mare (UNCLOS, 1982), in vigore dal 1994. Essa stabilisce i principi di: 1. uso pacifico dei mari; 2. equa condivisione delle risorse; 3. protezione ambientale e "eredità comune dell'umanità" per i fondali marini internazionali.

Il ruolo dell'UNCLOS rispetto a quest'ultimo aspetto è rafforzato dall'International Seabed Authority (ISA), fondata nel 1994 a Kingston, gestisce regolamenti e licenze per il deep-sea mining e la tutela ambientale dell'"Area", cioè i fondali marini oltre le giurisdizioni nazionali. Inoltre, l'Accordo BBNJ (*Biodiversity Beyond National Jurisdiction*, 2023) estende la governance alla biodiversità marina in alto mare, creando strumenti vincolanti su:

- accesso alle risorse genetiche marine,
- aree marine protette,
- valutazioni d'impatto ambientale,
- capacity building e trasferimento tecnologico.

L'Italia partecipa a questo quadro multilivello insieme all'UE per gli aspetti relativi alle politiche marittime e alla ricerca, e alle autorità regionali per la pianificazione costiera e il monitoraggio ambientale, mentre gli Stati Uniti non hanno ratificato la Convenzione UNCLOS e non sono membri dell'ISA.

La digitalizzazione e l'innovazione tecnologica hanno trasformato profondamente l'economia subacnea, con applicazioni in ricerca, ingegneria, sicurezza, trasporti e difesa. Le quattro aree tecnologiche di impatto includono:

1. Robotica e veicoli autonomi,
2. Internet of Things e digital twin subacquei,
3. Blockchain per tracciabilità e sostenibilità,
4. Nature-Based Solutions.

La posizione geografica italiana, baricentrica nel Mediterraneo, e la sua rete portuale avanzata conferiscono un ruolo centrale alla Penisola per gli scam-

¹ Il termine inglese utilizzato anche come sostituto è underwater economy.

bi euro-mediterranei e la proiezione infrastrutturale europea verso l'Africa e il Medio Oriente. La recente creazione di nuovi poli istituzionali e industriali a supporto della governance delle infrastrutture sottomarine e l'utilizzo di strumenti di protezione dell'interesse economico nazionale, ponendo limiti al ruolo di azionisti esteri, oltretutto una maggiore attenzione agli aspetti di pianificazione dei fondali, testimonia questa priorità strategica da parte del governo nazionale. Infatti, nel corso degli ultimi tre anni sono stati approvati provvedimenti normativi nei seguenti ambiti:

- il Polo Nazionale della Dimensione Subacquea (PNS) (2023),
- il Critical Underwater Infrastructure Security Center (CUISC) (2024),
- Approvazione dei Piani di gestione dello spazio marittimo (PSM) da parte del Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti (2024),
- l'Agenzia per la Sicurezza delle Attività Subacquee (ASAS) (2026),
- e l'uso del Golden Power nella fusione Saipem-Subsea7 (2025) e nella prevista cessione di Sparkle, a tutela degli interessi nazionali (2026).

La ricerca ha adottato un approccio multidisciplinare, integrando analisi economiche, geopolitiche e tecnologiche, con una valutazione quantitativa riferita all'Italia ma in un contesto fortemente internazionale. Le sei categorie di infrastrutture sottomarine identificate come significative in termini di innovazioni per il contesto nazionale comprendono quelle: 1. per la produzione di energia elettrica sostenibile; 2. per il trasporto di energia elettrica; 3. per lo sviluppo di reti di comunicazione; 4. per la valorizzazione delle risorse minerarie; 5. per lo sviluppo di innovazioni nel settore dell'alghicoltura e del bio-farming; 6. per la cattura e lo stoccaggio della CO₂.

Le stime della Commissione Europea indicano che l'eolico offshore fornirà entro il 2050 fino al 30 % del fabbisogno energetico UE e a livello italiano sono numerosi i progetti presentati per lo sviluppo di questo settore, sebbene allo stato attuale sia attivo un solo parco eolico al largo di Taranto.

In Italia, sebbene il potenziale tecnologico esista, le

applicazioni di produzione di energia direttamente dal mare valorizzando l'energia del moto ondoso restano limitate e i progetti pilota come *WaveSax* (Civitavecchia) e *ISWEC* (Pantelleria) hanno evidenziato vincoli economici e di scalabilità, senza raggiungere la fase commerciale.

Il PNIEC 2024 e il PNRR includono misure dedicate a impianti innovativi per l'energia del mare, anche in configurazioni ibride con altre tecnologie offshore, ma le iniziative restano in fase di sviluppo sperimentale.

Secondo l'IEA (2025), la domanda globale di cavi sottomarini HV/HVDC è cresciuta rapidamente per sostenere la transizione energetica e l'espansione dell'eolico offshore. Infatti, su scala mondiale si stimano oltre 1,5 milioni di km di nuovi cavi installati nel periodo 2013-2023 e fino a 15 milioni di km al 2050, segnando un incremento di ben 10 mln di km rispetto al 2023. In questo contesto, l'italiana Prysmian, che detiene il 25 % del mercato mondiale, investirà 2 mld € tra 2025-2027 per espandere la produzione in quattro siti europei, fra cui quello di Arco Felice (Napoli).

L'espansione delle reti elettriche sottomarine verso le isole maggiori (Tyrrenian Link) e verso la Tunisia (Tunita/ElMed), oggetto di investimenti di particolare rilevanza per la complessità progettuale e l'impegno economico oltretutto nel caso delle relazioni verso la sponda sud del Mediterraneo di innovazioni nel modello di finanziamento, rafforzano la sicurezza e l'integrazione energetica dell'Italia.

Queste opere consolidano il ruolo del Paese come hub energetico del Mediterraneo, integrando le rotte elettriche con le future dorsali di idrogeno e reti dati sottomarine.

Nel settore delle comunicazioni, i cavi sottomarini hanno un ruolo di rilevanza strategica in quanto trasportano circa il 99% del traffico dati internazionale e costituiscono il backbone delle comunicazioni elettroniche globali. Rispetto alle reti satellitari e wireless, essi garantiscono maggiore efficienza grazie alla fibra ottica. La rete mondiale, che supera 1,4 milioni di chilometri, è in continua espansione anche sotto la spinta dell'intelligenza artificiale e degli investimenti dei grandi operatori digitali. Questi cavi si sono trasformati in strumenti di geopolitica come dimostrato dalla Digital Silk Road cinese e dalle politiche di

contenimento soprattutto da parte degli Stati Uniti e da recenti episodi di danneggiamento e sospetti sabotaggi. In questo scenario, l'UE ha adottato un piano d'azione per rafforzare la resilienza di questa infrastruttura strategica. Il Mediterraneo rappresenta uno snodo cruciale per la rete e l'Italia, grazie a imprese come Sparkle e Prysmian e al contributo della Marina Militare, occupa una posizione strategica nello sviluppo e nella protezione di tali infrastrutture. La crescente domanda di minerali critici per la transizione verde e digitale ha spinto verso l'esplorazione dei fondali oceanici, dove si trovano noduli e solfuri polimetallici e croste ferromanganesifere. Queste risorse potrebbero coprire fino al 45% del fabbisogno mondiale entro il 2065, ma pongono seri rischi ambientali, compromettendo habitat profondi e cicli biogeochimici. Il quadro regolatorio internazionale mira a proteggere l'ambiente sottomarino, ma permangono tensioni geopolitiche, con alcuni Stati favorevoli a moratorie e altri, come gli USA e il Giappone, orientati ad accelerare lo sfruttamento. In questo contesto, l'UE adotta un approccio precauzionale, privilegiando la ricerca scientifica. Pur non disponendo di riserve significative nel Mediterraneo, l'Italia può assumere un ruolo strategico grazie alle competenze industriali (cantieristica, robotica offshore) e scientifiche (geofisica, ecologia marina), inserendosi nella catena del valore del deep-sea mining.

L'alghicoltura può potenzialmente fornire molti servizi ecosistemici, tra cui la mitigazione dei cambiamenti climatici, la protezione delle coste, la conservazione della biodiversità e il miglioramento della qualità dell'acqua. Inoltre, la coltivazione e la raccolta delle alghe possono contribuire alla decarbonizzazione, utilizzando la fotosintesi delle alghe per catturare la CO₂. A livello nazionale questo comparto ha dimensioni molto limitate e le iniziative in corso sono di tipo sperimentale, come quella promossa da Algae Scope nella laguna veneta.

Il bio-farming sottomarino costituisce un'innovativa

forma di coltivazione idroponica in biosfere sommerse, coerente con le strategie europee di sostenibilità e tutela della biodiversità. Il modello riduce l'impiego di pesticidi, assicura autosufficienza idrica e libera suolo agricolo, generando al contempo effetti positivi sugli ecosistemi marini. L'esperienza di Nemo's Garden in Liguria ha confermato la fattibilità tecnica e i benefici nutraceutici delle colture, pur evidenziando criticità di natura economica e regolatoria. Il Mediterraneo, per le sue condizioni ambientali e la scarsità idrica di alcune zone costiere, si configura come contesto privilegiato di sperimentazione, offrendo all'Italia rilevanti opportunità di innovazione tecnologica, diversificazione economica e consolidamento delle filiere ad alto valore aggiunto.

L'economia sottomarina nazionale rappresenta un asse strategico per competitività industriale, sicurezza energetica e innovazione tecnologica. L'Italia, grazie al proprio capitale industriale (fra cui le multinazionali Fincantieri, Leonardo, Saipem, Prysmian) e alla sinergia pubblico-privata promossa dalla Marina Militare, può assumere una leadership europea nel settore underwater, purché:

- rafforzi la governance nazionale (ASAS, CUIISC, PNS);
- acceleri il completamento delle misure prioritarie indicate nel PNRR e PNIEC;
- sviluppi politiche di dual use tra civile e militare;
- investa in formazione, ricerca e trasferimento tecnologico.

Il Mediterraneo, crocevia di reti energetiche, dati e comunicazioni, diventa così un laboratorio di sicurezza, sostenibilità e innovazione subacquea, dove l'Italia può trasformare un vantaggio geografico in un vantaggio strategico sistemico.

Sintesi delle proposte per rafforzare il ruolo del Sistema Paese nel mercato delle infrastrutture sottomarine

POSSIBILI EFFETTI	DESCRIZIONE
Valorizzazione posizione geografica	Le infrastrutture sottomarine nella ZEE nazionale hanno una valenza europea e mediterranea, pertanto, la valorizzazione dei cofinanziamenti comunitari (e.g. CEF e Global Gateway), assume una rilevanza strategica, in una logica di autonomia strategica e sicurezza continentale, come indicato anche nelle premesse del Piano Mattei
Dual use	Rafforzamento dell'approccio dual use fra civile e militare per la sicurezza delle infrastrutture sottomarine critiche e la condivisione di tecnologie avanzate. Questo aspetto potrà esser supportato dal completamento dell'iter di istituzione dell'Agenzia per la Sicurezza delle Attività Subacquee (ASAS) previsto nel corso del 2026
Pianificazione sinergica	Pianificazione sinergica fra le diverse tipologie di infrastrutture sottomarine ed off-shore, per valorizzare le sinergie e le complementarità nell'investimento e, soprattutto, nelle fasi di manutenzione
Riduzione costi logistici	Rafforzamento delle economie di specializzazione e di scala nelle attività di logistica di supporto nei comparti marittimo e portuale, con una logica che tenga conto della necessità di rafforzare la competitività e l'efficienza sia delle aree portuali dedicate sia della flotta di navi specializzate, e.g. attraverso la semplificazione degli aspetti amministrativi legati all'iscrizione al registro navale internazionale per mantenere la bandiera italiana, semplificazione dell'ordinamento marittimo, standardizzazione dei dossier autorizzativi per i lavori di posa e di riparazione
Formazione	Coordinamento dei percorsi di formazione, ricerca e trasferimento tecnologico per poter supportare lo sviluppo e le innovazioni in logica multifunzionale e con uso militare e civile

Fonte: Elaborazioni SDA Bocconi



1

INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELLA RICERCA



L'obiettivo della ricerca è quello di offrire un'analisi focalizzata sugli scenari e le prospettive dell'economia sottomarina per il Mediterraneo e con specifica attenzione ai riflessi sociali ed industriali per il contesto italiano.

Lo studio contribuisce ad anticipare le esigenze del settore e accompagnare gli investimenti pubblico-privati per infrastrutture sottomarine necessari a sviluppare un mercato strategico dal punto di vista geoeconomico e industriale, con ripercussioni sia in temi di sicurezza energetica e autonomia produttiva, sia risvolti nel settore militare².

Considerando la specificità della posizione geografica dell'Italia nel Mediterraneo³ e la capacità della portualità nazionale di porsi a supporto degli interscambi internazionali a vantaggio anche dell'Europa centra-

le, questo approfondimento di ricerca ha chiare ripercussioni non solo su elementi di sviluppo di natura economica, ma anche di prospettive di natura geopolitica, come rimarcato dai seguenti recenti interventi di natura governativa sul tema:

- Istituzione del Polo Nazionale della Dimensione Subacquea (PNS)⁴ nel 2023 sotto la supervisione controllo della Marina Militare⁵;
- Istituzione del Critical Underwater Infrastructure Security Center (CUIISC)⁶ da parte della Marina Militare (MM) nel 2024;
- Approvazione dei Piani di gestione dello spazio marittimo (PSM) nel 2024⁷;
- Istituzione dell'Agenzia per la Sicurezza delle Attività Subacquee (ASAS)⁸ nel 2026;
- Utilizzo dello strumento del Golden Power per rafforzare il ruolo degli impianti italiani nel processo di fusione fra due grandi player del comparto delle attività subacquee come l'italiana Saipem e

2 Rispetto a questi aspetti, nella relazione semestrale del 2025, Fincantieri evidenzia come il dominio strategico dell'underwater abbia acquisito un ruolo centrale dal punto di vista geopolitico per tematiche militari e di protezione delle infrastrutture subacquee critiche per l'energia e le comunicazioni, oltre che per il presidio dei fondali marini. Il mercato globale è stimato in circa euro 50 miliardi all'anno, con una componente accessibile per Fincantieri pari a circa euro 22 miliardi annui che abbraccia una pluralità di applicazioni sia civili che militari: dalla difesa e sicurezza infrastrutturale all'energia offshore fino all'acquacoltura e al mining sottomarino.

3 Pur occupando solo l'1% della superficie idrica mondiale, il Mar Mediterraneo è attraversato da oltre il 20% del traffico marittimo e dal 16% del traffico Internet globale, collegando tre continenti. Questa centralità lo rende fondamentale per i flussi economici e commerciali, ma anche teatro di sfide e controversie geopolitiche in cui più di 20 paesi si confrontano su questioni territoriali e marittime.

4 Il polo è stato istituito con Decreto del Ministro della Difesa, congiuntamente con i Ministri dell'Università e della Ricerca e per l'impresa e il Made in Italy nell'ottobre 2023.

5 L'attribuzione, avvenuta attraverso l'integrazione dell'Art.115 del Codice dell'Ordinamento Militare (COM), si basa sul presupposto che alla Marina Militare sia affidato un ruolo specifico nella sorveglianza spazi marittimi sottomarini della ZEE e della sottostante Piattaforma continentale.

6 Nel corso del 2024, la MM ha istituito "Critical Underwater Infrastructure Security Center", cioè di un "sistema di sistemi" in grado di integrare informazioni che provengono da più fonti: dai sensori delle unità navali, sottomarini, aeromobili, sistemi satellitari, fonti open source o commerciali alle centrali operative dei principali colossi nazionali che operano nella dimensione subacquea (Saipem, Eni, Tim Sparkle, Terna, etc.), che operano per il monitoraggio delle attività in prossimità delle infrastrutture critiche subacquee di interesse nazionale.

7 Con Decreto ministeriale del MIT numero 237 del 25 settembre 2024 sono stati approvati i piani di gestione dello spazio marittimo, che individuano la distribuzione spaziale e temporale delle pertinenti attività e dei pertinenti usi delle acque marine, presenti e futuri. Il PSM è concepito come strumento di pianificazione integrata e intersettoriale. L'Italia è divisa in tre macro-aree marittime (Tirreno, Adriatico, Ionio/Med centrale). Ogni area è ulteriormente suddivisa in sub-aree (o unità) per gestire caratteristiche omogenee e specifiche pressioni locali. PSM mappano le interazioni tra usi marittimi (es. pesca, trasporti, cavi, energia offshore, habitat protetti) identificando possibili conflitti e potenziali sinergie. Queste relazioni guidano la definizione delle regole spaziali e delle priorità di uso.

8 La Legge 26 gennaio 2026, n. 9, approvata definitivamente dal Parlamento il 21 gennaio 2026, ha istituito l'Agenzia per la Sicurezza delle Attività Subacquee (ASAS). La legge è stata pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 21 del 27 gennaio 2026 ed è entrata in vigore l'11 febbraio 2026. L'ASAS è un ente pubblico dotato di autonomia regolamentare, tecnica, organizzativa, amministrativa, patrimoniale, contabile e finanziaria, cui sono attribuite funzioni di indirizzo tecnico, coordinamento, monitoraggio e controllo delle attività svolte nella dimensione subacquea. L'Agenzia costituisce il punto di riferimento nazionale per la sicurezza delle attività subacquee civili e per la protezione delle infrastrutture sottomarine strategiche, favorendo l'uniformità degli standard operativi, il coordinamento tra amministrazioni e operatori e la gestione dei rischi connessi alle infrastrutture critiche. L'ASAS opera sotto l'indirizzo e il coordinamento della Presidenza del Consiglio dei Ministri, nell'ambito della governance nazionale delle politiche del mare.

la norvegese Subsea7⁹, oltre al caso Sparkle¹⁰.

L'oggetto delle analisi e delle valutazioni è il ruolo dell'economia dell'underwater nel contesto della Blue economy, con una prospettiva di analisi che tiene conto di metodologie specifiche settoriali, con una visione multidisciplinare degli effetti, tenendo conto della complementarità con altre policy pubbliche, con perimetro di analisi quantitativa il territorio nazionale, sebbene il ruolo sia esplicitato in molti casi all'interno di iniziative pubbliche e private che richiedono collaborazioni internazionali.

L'analisi combina un approccio quali-quantitativo, coniugando la presentazione dei fenomeni in ottica economica e geopolitica a descrizione degli impatti sui settori e sotto- settori avvalendosi di informazioni quantitative di natura economica.

Il comparto delle infrastrutture sottomarine può essere suddiviso in sei categorie di cui le prime tre di seguito indicate sono molto consolidate e di particolare

rilevanza e tre successive sono di crescente importanza per lo sviluppo di iniziative di accompagnamento alla gestione del climate change e della transizione ecologica:

1. Infrastrutture energetiche;
2. Infrastrutture per il trasporto di energia elettrica;
3. Infrastrutture di comunicazione;
4. Infrastrutture minerarie;
5. Infrastrutture per l'alghicoltura e di bio-farming;
6. Infrastrutture per lo stoccaggio dell'anidride carbonica.

Il rapporto dedica uno specifico capitolo di approfondimento a ciascuna di queste categorie, a valle di un capitolo dedicato alle definizioni e alla perimetrazione dell'economia dell'underwater e di un capitolo dedicato ai livelli di competenza regolatoria sul tema.

9 L'esercizio dei poteri speciali è avvenuto ai sensi del decreto-legge 15 marzo 2012, n. 21 e s.m.i. (Golden Power) per la tutela della sicurezza nazionale e degli asset strategici subacquei e, in particolare, garantire che attività e capacità considerate strategiche restino in Italia (presidio tecnologico, basi operative, know-how critico) e che la nuova entità prioritizzi interventi su infrastrutture energetiche italiane (cavi, condotte, impianti offshore). Queste finalità risultano dal via libera condizionato deciso dal Governo il 18 settembre 2025.

10 Nel processo di cessione di Sparkle da TIM, il Governo italiano è intervenuto direttamente attraverso il Ministero dell'Economia e delle Finanze, che ha promosso l'acquisizione della società insieme a Retelit. Nel corso delle trattative avvenute nel 2025 e concluse nel 2026 è stato più volte richiamato il quadro normativo relativo al Golden Power, considerata la natura strategica delle infrastrutture internazionali di telecomunicazione e dei cavi sottomarini gestiti da Sparkle. Sebbene il Golden Power non sia stato esercitato in funzione di veto, l'operazione costituisce uno dei principali esempi recenti di utilizzo degli strumenti di politica industriale e di tutela degli asset strategici nazionali nel settore delle infrastrutture digitali sottomarine. Sparkle gestisce una rete internazionale di oltre 600.000 km di fibra ottica, comprendente numerosi cavi sottomarini che collegano Europa, Mediterraneo, Americhe e Asia. Tali infrastrutture sono considerate asset critici per telecomunicazioni, dati, cloud e sicurezza nazionale. In questo senso, l'acquisizione di Sparkle da parte del MEF e la creazione dell'ASAS possono essere lette come due tasselli della stessa strategia nazionale di tutela delle infrastrutture digitali e sottomarine critiche.

2

DEFINIZIONE E PERIMETRO DELL'UNDERWATER ECONOMY



L'“underwater economy” è definita come l'insieme di tutte quelle attività che riguardano l'esplorazione, la ricerca, la comprensione, la gestione e l'utilizzo dello spazio sottomarino e che creano valore per gli esseri umani. Questa comprende tutte le attività economiche che si svolgono negli oceani, nei mari e nelle zone costiere, incluse quelle che dipendono direttamente dalle risorse marine. Secondo l'OECD, se fosse una nazione, l'economia oceanica, di cui l'economia sottomarina è una componente chiave, sarebbe la quinta più grande al mondo per valore economico (OECD, 2025).

Sin dalla pubblicazione nel 2016 del rapporto *The Ocean Economy in 2030* (OECD, 2016), l'OECD ha descritto l'economia oceanica come un sistema interconnesso basato su due pilastri: l'attività economica e le risorse e i servizi dell'ecosistema marino da cui essa dipende. Le interconnessioni tra l'attività economica oceanica e l'ambiente marino sono quindi

un concetto fondamentale nell'analisi dell'economia oceanica: la discussione di un pilastro è incompleta se non si considerano gli effetti che i cambiamenti in esso possono avere sull'altro. Sulla base dei dati OECD (OECD, 2025), dal 1995 al 2020, ha contribuito dal 3% al 4% del valore aggiunto lordo (VAL) globale e ha dato lavoro fino a 133 milioni occupati equivalenti a tempo pieno (ETP). L'economia oceanica globale è raddoppiata in termini reali in 25 anni, passando da 1,3 trilioni di USD di valore aggiunto lordo nel 1995 a 2,6 trilioni di dollari nel 2020, con un tasso di crescita medio annuo del 2,8%. L'evoluzione è stata guidata da un mix di fattori quali la crescita demografica, la necessità di rispondere ai cambiamenti climatici e altre pressioni ambientali, la crescita del commercio internazionale e il maggior numero di paesi coinvolti nella globalizzazione delle catene del valore, la ricerca di risposte alle richieste di una transizione energetica verso un mix di fonti diversificato, i progressi tecnologici a vantaggio del settore della navalmeccanica e le dinamiche geopolitiche, insieme alle loro interazioni. Le proiezioni qualitative e quantitative relative al percorso di crescita dell'economia oceanica presentate nel report OECD del 2025 evidenziano che i fattori chiave in grado di condizionare i percorsi di sviluppo dipendono dalle politiche e dalle strategie dei Paesi che sia affacciano sul mare in materia di mitigazione degli impatti dei cambiamenti climatici, di rapidità di risposta alle esigenze di promuovere una transizione energetica sostenibile, oltreché dai progressi nella scienza, nella tecnologia e nell'innovazione a supporto del comparto.

3

I DIVERSI LIVELLI DI
COMPETENZA REGOLATORIA
DELL'ECONOMIA
SOTTOMARINA

An abstract graphic at the bottom of the page consisting of a complex network of thin, light blue lines connecting various points, some of which are highlighted with small, glowing blue dots. The lines and dots create a sense of depth and connectivity, resembling a digital or biological network.

La Convenzione delle Nazioni Unite sul Diritto del Mare (United Nations Convention on the Law of the Sea - UNCLOS¹¹,) è il trattato giuridico fondamentale che regola l'uso degli oceani e delle risorse marine. L'UNCLOS stabilisce un ordine giuridico per i mari e gli oceani volto a:

- a) facilitare la comunicazione internazionale;
- b) promuovere usi pacifici del mare;
- c) assicurare l'uso equo ed efficiente delle risorse;

- d) la conservazione delle risorse biologiche;
- e) lo studio, la protezione e la preservazione dell'ambiente marino.

La Convenzione afferma anche che i problemi dello spazio oceanico sono interconnessi e vanno considerati in logica olistica e unitaria. Un principio cardine è quello dell'“eredità comune dell'umanità” applicato all'“Area” (fondali marini oltre la giurisdizione nazionale) e alle sue risorse, che non sono assoggettabili a sovranità statale o appropriazione e devono essere amministrate nell'interesse dell'umanità nel suo complesso. L'UNCLOS stabilisce cinque zone marittime con differenti competenze regolatorie, come sintetizzato nella tabella successiva.

Figura 1: Le competenze regolatorie delle zone marittime

Zona	Estensione	Competenza dello Stato costiero
Mare territoriale	fino a 12 miglia nautiche	piena sovranità
Zona contigua	fino a 24 miglia	controllo su dogane, immigrazione, sanità
Zona economica esclusiva (ZEE)	fino a 200 miglia	diritti esclusivi su risorse naturali
Piattaforma continentale	fino a 350 miglia (se geologicamente giustificata)	diritti su risorse minerarie e biologiche del fondo
Area internazionale (“The Area”)	oltre la ZEE	patrimonio comune dell'umanità, gestito dall'ISA

Fonte: Elaborazioni SDA Bocconi su UNCLOS

A supporto della Convenzione UNCLOS è stata costituita l'Agenzia tecnica International Seabed Authority (ISA) nel 1994, con sede a Kingston, in Giamaica. Le competenze dell'Agenzia sono relative ai seguenti aspetti:

- Regolamentazione delle attività minerarie in acque profonde (deep-sea mining);
- Emissione di licenze per esplorazione e sfruttamento;

- Protezione ambientale dell'Area.

I documenti chiave dell'ISA sono il Mining Code¹² (Regolamenti ISA su prospezione, esplorazione e sfruttamento) e il draft Exploitation Regulations (in fase di complessa negoziazione, sebbene il testo regolatorio abbia completato due cicli di revisione e siano stati conseguiti rilevanti progressi nel corso del 2025 e del 2026, il quadro normativo non è stato ancora formalmente adottato dall'ISA e la scadenza della fine del

¹¹ Aperta alla firma a Montego Bay il 10 dicembre 1982 e in vigore dal 16 novembre 1994.

¹² <https://www.isa.org.jm/the-mining-code/draft-exploitation-regulations-2>

2027 è giudicata la più probabile).

L'accordo nell'ambito UNCLOS più recente è quello relativo alla conservazione e all'uso sostenibile della diversità biologica marina delle aree al di fuori della giurisdizione nazionale (Trattato Biodiversity Beyond National Jurisdiction - BBNJ)¹³. Il Trattato BBNJ (talvolta denominato "trattato sull'alto mare o sulle acque internazionali") costituisce il primo strumento normativo diretto a stabilire regole vincolanti in un'area – l'alto mare –, posta al di fuori delle giurisdizioni nazionali che subisce, più di ogni altra zona, l'assenza di ogni forma di controllo. L'alto mare comprende la zona marittima situata al di là delle giurisdizioni nazionali degli Stati, 200 miglia nautiche dalla linea di base; corrisponde a circa il 64 % della superficie oceanica ed a circa il 95 % del volume degli oceani. Il BBNJ mira a colmare le lacune normative nella protezione delle acque internazionali. L'Accordo è finalizzato a disciplinare la governance degli oceani (tenuto anche conto che la Convenzione di Montego Bay sul diritto del mare del 1982 ha una portata di natura generale e già prevedeva la necessità di futuri accordi per darne piena attuazione), in particolare fornendo un meccanismo per individuare, istituire e gestire aree marine protette, senza tuttavia compromettere il ruolo esercitato dalle organizzazioni competenti. Il nuovo trattato consentirà, difatti, di istituire su larga scala aree marine protette in alto mare, necessarie anche per rispettare l'impegno mondiale assunto nel dicembre 2022 dall'Accordo sul quadro globale di Kunming-Montreal¹⁴ al fine di proteggere

almeno il 30% degli oceani entro il 2030. Per la prima volta, il trattato imporrà anche una valutazione dell'impatto delle attività economiche sulla biodiversità in alto mare.

In estrema sintesi, gli elementi essenziali dell'Accordo BBNJ sono cinque e riguardano:

1. L'accesso e l'utilizzo delle Risorse Marine Genetiche (Marine Genetic Resources – MGR);
2. L'istituzione di strumenti di gestione area-specifici, incluse le Aree Marine Protette (Area Based Management Tools – ABMT);
3. Obblighi e procedure per le valutazioni d'impatto ambientale di attività umane nell'alto mare (Environmental Impact Assessment – EIA);
4. Lo sviluppo di competenze e il trasferimento di tecnologia marina (Capacity Building and Transfer of Marine Technology – CBTMT);
5. Questioni generali e trasversali, tra cui, ma non solo, l'organizzazione degli organi istituzionali quali la Conferenza delle Parti, il Segretariato e il Comitato Tecnico-Scientifico, e la definizione dei meccanismi di finanziamento.

La tabella successiva permette di sintetizzare i diversi livelli di competenza regolatoria sui temi relativi alle infrastrutture sottomarine, partendo dal livello internazionale precedentemente descritto e delineato sino a livello locale.

13 Agreement under UNCLOS on the conservation and sustainable use of marine biological diversity of areas beyond national jurisdiction (BBNJ). Adottata nel Giugno 2023, dopo quasi due decenni di negoziati e discussioni, la Convenzione, nota anche come il Trattato sull'Alto Mare, è stata aperta alla firma il 20 Settembre 2023 e, a fine settembre 2025, è stata sottoscritta da 145 Paesi, oltre alle 63 ratifiche e diventerà legalmente vincolante dal 17 Gennaio 2026.

14 Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, Decision 15/4 "Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework", CBD/COP/DEC/15/4, adopted on 19 December 2022 (Montreal).

Figura 2: Livelli di competenza regolatoria

Livello	Attore	Ambito di competenza
Internazionale	UNCLOS, ISA	Regolazione dell'Area, protezione ambientale globale
EU27	Commissione Europea	Politiche marittime, ambiente, ricerca, innovazione
Nazionale	Stati membri UE	Autorizzazioni, licenze, gestione delle ZEE e piattaforme continentali
Locale	Regioni e autorità di sistema portuale	Pianificazione costiera, impianti subacquei, monitoraggio ambientale

Fonte: Elaborazioni SDA Bocconi su UNCLOS

4

L'IMPATTO DELLE NUOVE TECNOLOGIE SULL'ECONOMIA SOTTOMARINA

An abstract graphic in the bottom half of the page, consisting of a complex network of thin, light blue lines connecting various points. Some points are highlighted with small, glowing blue circles, creating a sense of digital connectivity and data flow.

L'economia sottomarina è sempre più al centro di investimenti e strategie promosse dal settore pubblico e privato anche grazie alla rapida evoluzione delle tecnologie a supporto di attività quali le ispezioni, la mappatura degli oceani, il monitoraggio ambientale, oltreché per operazioni militari di sorveglianza e sicurezza.

Il settore marittimo in generale, e quello dell'underwater in particolare, sono stati trasformati dalla digitalizzazione e dall'innovazione tecnologica praticamente in ogni ambito, dai droni subacquei alle attrezzature aeree, con conseguenze più rilevanti in 5 specifici ambiti: a) settore del trasporto marittimo e portuale, b) attività di ricerca e soccorso in mare; c) attività

di ingegneria e costruzioni in ambito marittimo (dai dragaggi alla estrazioni); d) alla ricerca scientifica e ambientale; e) applicazioni militari e per la sicurezza.

Oltre alla rapida evoluzione delle tecnologie, anche la crescente sensibilità in materia ambientale e lo sviluppo delle iniziative per la difesa e la sicurezza hanno contribuito ad accelerare l'attenzione all'economia dell'underwater.

Di conseguenza, anche i progetti più ambiziosi di infrastrutture oceaniche e di robotica in corso di realizzazione con iniziative pilota o di tipo sperimentale potrebbero avere un'influenza significativa in un futuro a breve grazie anche alle sinergie fra pubblico e privato e fra investitori in iniziative di interesse civile in collaborazione con i militari.

La tabella successiva riepiloga le principali categorie di tecnologie disruptive nel settore dell'economia dell'underwater.

Figura 3: Le tecnologie disruptive del settore dell'economia dell'underwater

Tipologia di tecnologia	Descrizione dell'impatto	Principali settori dell'economia sottomarina coinvolti
Robot e veicoli a guida autonoma	Lo sviluppo dell'autonomia, della sensoristica, delle telecamere ad alta risoluzione consente la sostituzione di attività umana, permettendo rilevazioni, ispezioni, riparazioni e installazioni in condizioni di profondità e di visibilità molto maggiori rispetto al recente passato.	Tutti i settori sono potenzialmente beneficiari dell'incremento di efficienza e sicurezza, ma in particolare tutte le infrastrutture critiche, quali i cavi per la trasmissione di dati, gasdotti e oleodotti, impianti di estrazione di idrocarburi e impianti eolici offshore. Evoluzione a beneficio del settore militare.
Underwater IoT and Digital Twins	I sensori IoT progettati appositamente per funzionare in ambienti marini stanno rivoluzionando il modo in cui i dati vengono raccolti, inviati al cloud ed elaborati per ottenere informazioni utili per la manutenzione predittiva e la pianificazione operativa basata sui dati. L'osservazione della Terra e le telecomunicazioni di nuova generazione basate su nuove costellazioni di satelliti, Big Data e Digital Twins vengono utilizzati per monitorare gli ecosistemi marini ai fini di un uso consapevole delle risorse e della ricerca scientifica.	L'implementazione su larga di queste innovazioni consente la progettazione e la pianificazione di interventi per il ripristino dell'habitat marino, lo sviluppo di un'economia blu sostenibile e l'ottimizzazione della gestione delle infrastrutture sottomarine esistenti.
Blockchain	La tecnologia blockchain consente la creazione di un registro immutabile e condiviso e di una forma avanzata di registrazione distribuita basata sulla crittografia. Le caratteristiche principali della blockchain includono quindi decentralizzazione, trasparenza, immutabilità e sicurezza tramite crittografia a chiave pubblica e privata.	Incrementare la tracciabilità e la sostenibilità dei prodotti agroalimentari di provenienza oceanica. Monitoraggio e gestione delle acque reflue per la mitigazione dei processi di eutrofizzazione nei mari alla tracciabilità delle operazioni di raccolta e gestione dei rifiuti negli oceani.

Natural Based Solutions (NBS)	NBS come barriere naturali e praterie marine migliorano la riproduzione e la qualità dell'habitat o soluzioni ibride (es. reef artificiali + strutture ingegneristiche) per protezione costiera.	Queste soluzioni sono promosse da organismi internazionali come UNEP ¹⁵ , IUCN ¹⁶ , Commissione Europea (Green Deal, Mission Ocean) e FAO (Blue Transformation) per il miglioramento della qualità dell'acqua, aumento della biodiversità, sequestro di carbonio o la riduzione dei costi di protezione costiera.
-------------------------------	--	---

Fonte: Elaborazioni SDA Bocconi su dati dei bilanci di Leonardo, Saipem, Fincantieri e focal point Italia del Intergovernmental Panel on Climate Change

Le tecnologie sperimentali in questo ambito, come quelle relative agli Autonomous Underwater Vehicle – AUV, vedono già l'Italia in prima linea, ad esempio, con progetti promossi da Saipem nel Golfo di Trieste dove è stato portato allo stato industriale il prototipo definito FlatFish, in grado di effettuare ricognizioni a profondità superiori ai 2.000 metri utilizzate a supporto di numerose industrie attive negli ambiti sottomarini. FlatFish riduce significativamente l'impronta di CO₂ di questo tipo di operazioni di oltre il 90% e diminuisce il fabbisogno di personale di circa il 70%, permettendo così a Saipem di vincere nel Maggio del 2023 con questo robot il Spotlight on New Technology Award.

Un ulteriore salto tecnologico è stato realizzato nell'ambito del contratto assegnato nel 2023 da Petrobras, finalizzato allo sviluppo di una nuova generazione del sistema. Nel marzo 2026 il drone ha completato con esito positivo i Functional Acceptance Tests presso il centro di Trieste, ottenendo l'autorizzazione da parte di Petrobras per l'avvio della fase finale del progetto e il successivo impiego operativo nelle acque ultra-profonde del Brasile. Durante le prove il sistema ha dimostrato la capacità di effettuare in modalità completamente autonoma ispezioni di strutture e condotte sottomarine, misure di protezione catodica e verifiche dello spessore delle tubazioni, confermando la maturità industriale della tecnologia.

L'evoluzione del programma Hydrone si inserisce

inoltre nelle più ampie applicazioni della robotica subacquea a supporto delle attività di monitoraggio ambientale e delle future infrastrutture energetiche offshore, comprese quelle legate alla cattura e stoccaggio della CO₂ (CCS). In tale contesto, piattaforme autonome come FlatFish possono essere integrate con sistemi avanzati di rilevamento delle perdite e sensori multiparametrici per il monitoraggio continuo di condotte, siti di stoccaggio geologico della CO₂ e infrastrutture sottomarine critiche, rappresentando una delle applicazioni più promettenti per la sicurezza e la sostenibilità delle future attività offshore.

Fra i progetti di maggior complessità sviluppati in questo campo, si segnala anche il grande robot subacqueo a controllo remoto, lungo oltre 32 metri e largo più di 8 metri, capace di muoversi sotto le banchine e lavorare in completa autonomia, denominato RoboGo e inaugurato nell'estate del 2025 a Trieste. RoboGo consente di sostituire operatori, subacquei e non, in operazioni delicate come la manutenzione delle strutture portuali quali quella del Molo VII di Trieste dove è stato utilizzato per la prima volta dall'Impresa Taverna, società del Gruppo ICOP, con sede in Italia, che ha investito 20 milioni di euro per questa innovazione. RoboGo è dotato di bracci oleodinamici intelligenti, telecamere ad alta risoluzione, sensori avanzati e un sofisticato sistema di intelligenza artificiale, per svolgere in autonomia operazioni complesse: dall'idropulizia alla impermeabilizzazione, fino all'idroscarifica e al ripristino strutturale del calce-

15 Il Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente (UNEP) è la principale autorità globale delle Nazioni Unite in materia di ambiente, che promuove un cambiamento trasformatore sulla triplice crisi planetaria: la crisi dei cambiamenti climatici, la crisi della natura, della terra e della perdita di biodiversità e la crisi dell'inquinamento e dei rifiuti. Fin dalla sua fondazione nel 1972, l'UNEP ha svolto un ruolo di mediatore neutrale tra gli Stati membri, la società civile, il settore privato e le agenzie delle Nazioni Unite per affrontare le sfide ambientali più urgenti dell'umanità. Dalla protezione delle specie al ripristino dello strato di ozono, gli accordi internazionali facilitati dall'UNEP hanno reso possibile l'azione ambientale globale nel corso degli anni. Oggi l'UNEP ospita l'Assemblea delle Nazioni Unite per l'ambiente, l'organo decisionale di più alto livello al mondo in materia di ambiente, con una composizione universale che comprende tutti i 193 Stati membri delle Nazioni Unite.

16 International Union for Conservation of Nature. Creata nel 1948, l'IUCN è oggi la rete ambientale più grande e diversificata al mondo, che sfrutta le conoscenze, le risorse e la portata delle nostre oltre 1.400 organizzazioni membri e 17.000 esperti.

struzzo. Le operazioni sono infatti supervisionate in tempo reale da una Control Room, situata su un pontone galleggiante, collegato all'unità robotica. Questo consente di mantenere pienamente operativi i terminal in superficie, riducendo tempi, costi e impatto ambientale degli interventi. RoboGO si presenta come una soluzione tecnologica replicabile nei principali scali marittimi internazionali.

Un esempio di utilizzo in partnership fra civili e militari al fine di presidiare e monitorare i gasdotti e i cavidotti del Canale di Sicilia è l'Operazione Fondali Sicuri promossa da parte della Marina Militare, che ha vista impegnata nel corso del 2023 la nave Chioggia. Per questa attività è stato utilizzato il "Multipluto", un Rov (Remote operated vehicle), mezzo subacqueo che ispeziona i fondali inviando informazioni e immagini a nave Chioggia. L'attività di bonifica dei fondali marini e il monitoraggio delle condotte sottomarina rientrano tra i compiti istituzionali assegnati alle unità cacciamine alle dipendenze del comando delle forze di contromisure mine (MARICODRAG) e viene annoverata tra le operazioni finalizzate alla salvaguardia della pubblica incolumità.

Fra i progetti sviluppati da aziende italiane con dual use civile e militare è da segnalare quello promosso da Leonardo Spa e denominato V-FIDES. V-FIDES è un uncrewed underwater vehicle (UUV) multiruolo che funge anche da ROV tramite cavo in fibra ottica e può essere configurato con diversi carichi utili a seconda del tipo di missione. V-FIDES è stato sviluppato per svolgere una serie di missioni, quali: ispezione di strutture sottomarine come condutture e cavi sottomarini;

esplorazione e mappatura dei fondali marini; neutralizzazione di minacce utilizzando, ad esempio, il mini-siluro Black Scorpion, il rilevamento automatico di Mine Like Objects (MLO) e operazioni di sminamento.

I rapidi sviluppi tecnologici negli ambiti sottomarini hanno portato ad inserire un capitolo di spesa con un fondo di 2 milioni di Euro nella legge di bilancio 2023 per la costituzione del già citato Polo Nazionale della Dimensione Subacquea, la cui sede è stata identificata a La Spezia presso il Centro di Supporto e Sperimentazione Navale della Marina Militare (MM). Il Polo si pone lo scopo di favorire le sinergie fra competenze militari e civili, aggregando il know-how sia dei grandi players del settore come Fincantieri¹⁷ e Leonardo sia di PMI, centri di ricerca e università, con l'obiettivo anche di poter favorire progetti pilota anche in ambiti quali il sea mining¹⁸, dedicato specificamente alle materie prime rare, come evidenziato nel successivo capitolo 7, o lo sviluppo di forme di agricoltura sottomarina, come descritto nel capitolo 8.

Fra i più recenti progetti innovativi basati su sensori IoT vi è quello promosso da Saipem che sta portando avanti lo sviluppo di un approccio integrato Digital Twin per la progettazione e la manutenzione di componenti critici sottomarini, incorporando nuove tecnologie come il "Riser Monitoring System" per migliorare la durata di vita dei giacimenti. Queste tecnologie, comprese le loro evoluzioni (ad esempio il monitoraggio in fibra ottica), sono state qualificate e applicate con successo nei progetti Buzios 5 e Buzios 7 a circa 2.000 metri di profondità a largo delle coste di Rio de Janeiro in Brasile.

17 Il segmento Underwater di Fincantieri è stato introdotto nel primo trimestre 2025 e comprende WASS Submarine Systems S.r.l. (consolidata a inizio 2025), il business dei sottomarini, la controllata Remazel Engineering e la linea di business "Unmanned Systems & Underwater" della controllata IDS- Ingegneria dei Sistemi S.p.A. Per comprendere la necessità di sviluppare forme di collaborazioni ampie per la valorizzazione di questo settore, è interessante notare come Fincantieri abbia firmato un accordo di collaborazione industriale con Thyssenkrupp Marine Systems nell'ambito di una più ampia partnership strategica volta a fornire alla Marina delle Filippine soluzioni avanzate nel settore sottomarino. Inoltre, la controllata IDS ha firmato un Memorandum of Understanding con Graal Tech S.r.l., azienda specializzata nella progettazione e costruzione di sistemi mecatronici sottomarini. L'accordo segna l'inizio di attività di co-sviluppo tecnologico in esclusiva di veicoli underwater unmanned di medie e piccole dimensioni oltre ai relativi sistemi di controllo, modelli dinamici, piattaforme di simulazione, carichi paganti ed equipaggiamenti dedicati di monitoraggio, misura ed intervento e prevede, inoltre, la creazione di un centro di collaudo e addestramento piloti per veicoli unmanned underwater.

18 In coerenza con il Critical raw material Act dell'UE (COM(2023) 165 final del 16 marzo 2023). IEA, I. (2021). The role of critical minerals in clean energy transitions. World Energy Outlook Special Report, p. 240. Le iniziative dell'UE in materia di materie prime critiche si basano su tre pilastri tra i quali: sviluppare la catena del valore delle materie prime critiche nell'UE, e incentivare la diversificazione dell'approvvigionamento. Con il primo pilastro si mira a garantire che almeno il 10% della domanda interna di materie prime critiche sia soddisfatta da materie estratte nell'UE, ove le riserve lo consentano. Il primo passo per lo sviluppo di una capacità europea consiste nel comprendere meglio quali siano le risorse disponibili, aggiornando le mappe geologiche ed elaborando programmi di esplorazione all'interno dell'UE. Inoltre, bisogna garantire che il sea mining sia fatto in maniera sostenibile preservando la biodiversità marina. Con il secondo pilastro si intende ridurre il rischio di interruzioni involontarie o volontarie degli approvvigionamenti attraverso una diversificazione delle fonti. Questo significa aumentare le rotte di importazione e probabilmente aumentare le attività per garantire la sicurezza lungo il trasporto.

Il caso del progetto Posidonia Reef Restoration nel Golfo di Napoli promosso da Ecoreach Srl permette di comprendere il potenziale ruolo delle Natural Based Solutions (NBS). Questo progetto, basato su reef artificiali in materiali naturali, monitoraggio con droni subacquei, mira a reintrodurre e ripristinare le praterie di Posidonia oceanica, in particolare nell'Area Marina Protetta (AMP) Parco Sommerso di Gaiola e nell'AMP Regno di Nettuno. Questi progetti, condotti

da enti come l'AMP Gaiola e la Stazione Zoologica Anton Dohrn, utilizzano talee di Posidonia prelevate da zone degradate o sradicate dalle ancore per essere trapiantate su apposite stuoie biodegradabili, con l'obiettivo di rigenerare l'habitat, aumentare la biodiversità e contrastare gli impatti antropici. La tabella seguente evidenzia le quattro principali categorie di NBS in ambiti sottomarini.

Figura 4: Tipologie di Natural Based Solutions in ambiti sottomarini

Tipologia	Obiettivo	Materiali utilizzati	Esempi di progetti in Italia
Reef artificiali bio-compatibili	Protezione costiera, ripristino habitat	Pietrame naturale, ceramiche porose	Green-Grey Infrastructure nel porto di Savona
Dune sommerse vegetate	Dissipazione energetica delle onde	Fibre di cocco, sabbia stabilizzata	Progetto LIFE DUNAS (Lazio)
Praterie marine ripristinate	Sequestro carbonio, biodiversità	Posidonia oceanica, Zostera marina	Posidonia Reef Restoration nel Golfo di Napoli
Strutture ibride green-grey	Integrazione con infrastrutture esistenti	Geotessili, substrati naturali	Blue Belt Adriatico (2023–2025) in Puglia

Fonte: elaborazioni SDA su DM 7 Dicembre 2023 n. 414.

5

L'IMPATTO DELLA
TRANSIZIONE ENERGETICA
SULLE INFRASTRUTTURE
SOTTOMARINE PER LA
PRODUZIONE E PER
LA TRASMISSIONE DI
ELETTRICITÀ



Il rapporto dell'International Energy Agency (IEA) *“Building the Future Transmission Grid Strategies to navigate supply chain challenges”* del 2025 analizza le sfide infrastrutturali e di approvvigionamento per la rete elettrica globale, con particolare attenzione alla transizione energetica e all'integrazione di fonti rinnovabili emergenti. Le tecnologie marine sono citate come “frontiera strategica” per la diversificazione energetica, soprattutto in aree

costiere e insulari.

L'energia eolica offshore rappresenta il settore più consolidato e promettente a livello globale, con l'Europa leader in termini di capacità installata. Entro il 2050, si prevede che questa tecnologia fornirà il 30% del fabbisogno energetico dell'Unione europea, grazie all'implementazione di parchi eolici in acque profonde mediante tecnologie galleggianti.

Di seguito una tabella comparativa delle principali tecnologie per la produzione di energia elettrica sotto il mare, che hanno un livello di maturità relativamente differente, passando dai più consolidati, quali il tidal stream e il tidal range, ai casi in cui si è ancora in una fase pre-commerciale o addirittura sperimentale, quali i sistemi basati sul Salinity Gradient Power, le cui sperimentazioni sono in corso solo in Norvegia e nei Paesi Bassi.

Figura 5: Le principali tecnologie per la produzione di energia elettrica sotto il mare

Tecnologia	Fonte Energetica	Principio di Funzionamento	Vantaggi	Sfide Tecniche/ Ambientali
Moto Ondoso (Wave Energy)	Onde superficiali	Dispositivi che convertono il movimento delle onde in energia meccanica o pneumatica	Elevata densità energetica, produzione continua	Resistenza alle tempeste, corrosione, variabilità del moto ondoso, costi di manutenzione elevati
Correnti Marine (Tidal Stream)	Correnti sottomarine	Turbine sottomarine che sfruttano il flusso delle correnti	Prevedibilità, basso impatto visivo	Impatto su ecosistemi, difficoltà di installazione, numero di siti idonei limitato
Maree (Tidal Range)	Differenza di livello maree	Dighe mareali che sfruttano il dislivello tra alta e bassa marea	Produzione stabile e prevedibile	Impatto ambientale e paesaggistico, costi elevati
Energia Termica Oceanica (OTEC)	Gradiente termico	Cicli termodinamici tra acque calde superficiali e fredde profonde	Produzione continua nei tropici	Efficienza limitata, grandi impianti necessari
Gradiente Salino	Differenza salinità	Processi di osmosi o elettrodialisi tra acqua dolce e salata	Potenziale elevato in estuari	Costi di membrana ancora elevati e tecnologie ancora sperimentali

Fonte: Elaborazioni SDA Bocconi

A livello italiano, le tecnologie precedentemente citate trovano una valorizzazione limitata sebbene il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima presentato in versione definitiva nel Luglio del 2024 abbia come obiettivo lo sviluppo di casi applicativi di tecnologie

per la produzione elettrica “sotto il mare” e il Piano Nazionale Ripresa e Resilienza abbia una misura di investimento dedicata ad impianti innovativi, inclusi gli impianti che sfruttano l'energia del mare anche in logiche ibride con altre tecnologie off-shore¹⁹.

19 Missione 2 – Rivoluzione verde e transizione ecologica, Componente 2 (“Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile”).

Tra le principali iniziative sperimentali figurano il progetto WaveSAX nel porto di Civitavecchia e il convertitore inerziale ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter) installato a Pantelleria. Il progetto WaveSAX, sviluppato da RSE e basato sulla tecnologia Oscillating Water Column (OWC), è stato sperimentato attraverso i prototipi WaveSAX-1 (2018) e WaveSAX-2 (2021) integrati nella diga foranea del porto. Studi successivi hanno evidenziato un miglioramento dell'efficienza del 37% rispetto alla prima configurazione e stimato che un'installazione lineare di dispositivi lungo il frangiflutti potrebbe generare fino a 4 GWh annui, coprendo circa il 20% del fabbisogno energetico portuale e riducendo le emissioni di circa 2.800 tonnellate di CO₂ equivalenti all'anno.

Parallelamente, il sistema ISWEC sviluppato da Eni, Politecnico di Torino e Wave for Energy è entrato in esercizio a Pantelleria nel 2023 come primo impianto al mondo collegato alla rete elettrica di un'isola. Il dispositivo, con una potenza di picco pari a 260 kW, ha consentito di acquisire dati operativi in condizioni reali e di supportare lo sviluppo di dispositivi di seconda generazione destinati all'alimentazione di infrastrutture offshore, comunità costiere e sistemi energetici insulari.

Nel complesso, le sperimentazioni condotte in Italia

non hanno ancora condotto a implementazioni commerciali su larga scala e permangono criticità legate ai costi di investimento, alla manutenzione degli impianti marini e alla competitività rispetto alle tecnologie eolica e fotovoltaica. Tuttavia, i risultati ottenuti negli ultimi anni indicano che tali soluzioni possono trovare applicazioni di nicchia in contesti caratterizzati da elevata disponibilità della risorsa marina, limitata disponibilità di suolo o particolari esigenze energetiche di porti, isole minori e infrastrutture offshore, soprattutto nell'ambito di sistemi energetici integrati e multi-tecnologia.

Le tecnologie basate sulle correnti di marea potenzialmente potrebbero trovare applicazione nello stretto di Messina e nella Laguna Veneta, sulla base della mappatura sviluppata da RSE, ma in entrambi i casi non sono state sviluppate iniziative pilota di tipo commerciale, ma solo di tipo sperimentale per testare le attrezzature.

Il Ministero dello Sviluppo Economico²⁰ ha mappato anche le aree dove le escursioni di marea, sebbene limitate a pochi centimetri, potrebbero essere di possibile interesse per le tecnologie di produzione di energia elettrica, ma le analisi commerciali hanno evidenziato la non economicità delle potenziali applicazioni operative.

20 Ministero dello Sviluppo Economico "I Mare - Terza edizione - Numero speciale del Bollettino ufficiale degli idrocarburi e delle georisorse" Ottobre 2020.



Come evidenziato nel rapporto dell'IEA la domanda di cavi elettrici sottomarini si è intensificata molto nel corso degli ultimi anni a causa di un rapido incremento di investimenti in progetti di trasmissione ad alta e altissima tensione per facilitare il trasferimento di energia a lunga distanza e dall'aumento dell'energia eolica offshore che aumenta la necessità di cavi sottomarini ad alta tensione, in particolare in Europa. Questa crescita del mercato è sottolineata anche dagli ingenti investimenti da parte del leader di mercato, l'azienda italiana Prysmian, che detiene il 25% delle quote di questo mercato. Su scala mondiale, le reti elettriche stanno assumendo un ruolo sempre più strategico nella transizione energetica. Secondo la IEA, per conseguire gli obiettivi climatici e di sicurezza energetica sarà necessario aggiungere o rinnovare oltre 80 milioni di chilometri di linee elettriche entro il 2040, un'estensione equivalente all'intera rete elettrica globale oggi esistente. Nello scenario di neutralità climatica al 2050, la crescita delle infrastrutture di trasmissione e distribuzione è trainata dall'elettrificazione dei consumi, dall'integrazione delle fonti rinnovabili e dallo sviluppo delle connessioni ad alta tensione terrestri e sottomarine. La domanda di cavi ad alta e altissima tensione è conseguentemente destinata a crescere lungo tutto il prossimo ventennio. In questo contesto, Prysmian, leader mondiale nel settore dei sistemi in cavo per energia e telecomunicazioni, ha confermato un ampio programma di investimenti per l'espansione della capacità produttiva e tecnologica. Il piano industriale prevede circa 2,7 miliardi di euro di investimenti cumulati nel periodo 2023-2027, destinati prevalentemente ai segmenti Renewable Transmission e Power Grid, con il rafforzamento degli impianti europei dedicati ai cavi HVDC e sottomarini, tra cui i siti di Arco Felice (Napoli), Pikkala (Finlandia), Drammen (Norvegia) e Nordenham (Germania), oltre al potenziamento della flotta posacavi. Tali investimenti mirano a sostenere la forte crescita della domanda generata dalle nuove interconnessioni elettriche, dai parchi eolici offshore e dal rafforzamento delle reti europee e internazionali.

Lo sviluppo delle reti elettriche sottomarine e degli accumuli costituisce un elemento di resilienza e di accelerazione della transizione energetica che richiede una rete più efficiente e capillare. Il progetto in mare

più rilevante in questi ambiti è quello del Tyrrhenian Link dal costo complessivo di 3,7 miliardi di Euro, inserito nel Piano di sviluppo della rete elettrica nazionale da Terna dal 2018. Il progetto prevede la realizzazione di due linee elettriche sottomarine (una dalla Campania alla Sicilia e una dalla Sicilia alla Sardegna) per un totale di 950 km di collegamento a 1000 MW in corrente continua. Nell'estate del 2025 è stato completato il tratto Est, lungo complessivamente 480 km, che parte dal territorio di Battipaglia, nel salernitano in Campania, si snoda per la parte sottomarina nelle acque territoriali tra Campania, Basilicata e Calabria e Sicilia fino all'approdo nel territorio di Termini Imerese, nel palermitano, in Sicilia. Il secondo tratto, fra Termini Imerese e Terra Mala in provincia di Cagliari è previsto esser completato nel 2028.

Un progetto di rilevanza simile è quello relativo all'interconnessione definita "TUNITA", frutto dell'autorizzazione del luglio 2024 da parte dei governi italiani e tunisino alla realizzazione dell'interconnessione elettrica tra Tunisia e Italia. La parte italiana dell'opera è stata autorizzata dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) con decreto del 10 maggio 2024. Nell'agosto del 2023 Terna e STEG, il gestore della rete tunisina, hanno firmato con la Commissione europea il Grant Agreement che dà il via al finanziamento di 307 milioni di euro destinato all'interconnessione contribuendo allo sviluppo del primo collegamento elettrico in corrente continua tra Europa e Africa. Per la prima volta i fondi comunitari Connecting Europe Facility sono stati assegnati a un'opera infrastrutturale sviluppata da uno Stato Membro e da uno Stato Terzo. Nel giugno del 2023 la Banca mondiale ha approvato un finanziamento di 268,4 milioni di dollari alla Tunisia per il progetto ELMED, in parte dedicato alla realizzazione della stazione di conversione (inclusa nel perimetro di progetto finanziato dal CEF) e in parte dedicato ai rinforzi interni di rete funzionali all'esercizio dell'interconnessione. L'accordo rientra nel quadro del partenariato tra Tunisia e Banca mondiale per il periodo 2023-2027. Il progetto costituisce il primo pilastro della nuova partnership tra la Tunisia e la Banca mondiale, rappresenta un punto di svolta nel settore energetico tunisino, aprendo le porte a futuri investimenti e iniziative nel settore energetico.

6

LA RAPIDA EVOLUZIONE
DELLE INFRASTRUTTURE
SOTTOMARINE PER LE
COMUNICAZIONI

An abstract graphic at the bottom of the page consisting of a complex network of thin, light blue lines connecting various points, resembling a global communication or data network. The lines are more densely packed in some areas and more sparse in others, creating a sense of depth and connectivity.

L'importanza economica delle reti di cavi sottomarini è evidente in quanto ben il 99% del trasferimento di dati e delle comunicazioni internazionali avviene grazie a questa tipologia di infrastrutture (OECD, 2025).

Secondo la Submarine Cable Map 2025, che mappa 597 cavi e 1.712 approdi attualmente attivi o in costruzione su scala mondiale, la domanda di traffico dati sta spingendo fornitori di contenuti come Amazon, Google, Facebook e Microsoft a investire in cavi sottomarini, progetti di guida e prioritarizzazione dei percorsi. Oltre la metà di tutta la domanda nelle rotte sottomarine atlantiche, intra-asiatiche e trans-pacifiche è soddisfatta da queste aziende. Con l'aumento della domanda di dati Internet, vengono costruiti altri cavi sottomarini.

Il traffico di dati a livello mondiale è in continua crescita trainato dal moltiplicarsi delle applicazioni e dall'aumento delle connessioni. Spesso questo traffico viaggia in modalità wireless rendendo la rete invisibile. Ma non bisogna dimenticare che la parte wireless del traffico è molto breve: dal dispositivo (per esempio, smartphone o automobile) all'antenna della stazione radio base. Una volta raggiunta l'antenna, i dati non proseguono più attraverso l'etere, ma vengono instradati su una rete di cavi in fibra ottica terrestri e sot-

tomarini. Proprio la rete dei cavi sottomarini costituisce l'infrastruttura portante – il cosiddetto backbone – delle comunicazioni elettroniche internazionali che cresce al crescere del traffico dati. Per questo motivo, la rete di cavi sottomarini può essere considerata un'infrastruttura globale la cui resilienza, sicurezza e governance assumono crescente rilevanza per le dinamiche di interdipendenza economica e geopolitica.

Per ragioni di sicurezza, un elemento fondamentale per il disegno della rete dei cavi sottomarini è rappresentato dalla ridondanza e dalla diversificazione. Con ridondanza si intende disporre di più di un cavo tra due nodi; se un cavo subisce un danno – per esempio a causa di un terremoto, di un'ancora o di un atto di sabotaggio – il traffico può essere rapidamente instradato su un altro cavo, evitando l'interruzione del servizio. La ridondanza non riguarda solo il numero di cavi, ma anche la capacità di rete: è necessario che i cavi alternativi abbiano sufficiente capacità per assorbire il traffico in caso di emergenza. La diversificazione riguarda invece la scelta dei percorsi fisici e geografici dei cavi. Non basta avere due o più cavi se passano tutti nello stesso stretto marittimo o lungo la stessa rotta: un singolo evento potrebbe danneggiarli contemporaneamente. La diversificazione implica quindi collocare i cavi su rotte differenti, atterrarli in porti e stazioni di approdo separati, e possibilmente distribuirli tra diversi paesi o regioni, così da ridurre la probabilità che un singolo punto di vulnerabilità comprometta l'intero sistema.

6.1 Il ruolo dei cavi sottomarini

I cavi sottomarini per le comunicazioni elettroniche sono oggi in fibra ottica; questo consente la trasmissione di un elevato volume di dati su lunghe distanze. Rispetto ai sistemi *wireless* e satel-

litari, i cavi sottomarini sono più efficaci ed efficienti.

All'interno dei cavi sottomarini, gli impulsi luminosi viaggiano attraverso sottilissimi filamenti di vetro e agli estremi del cavo, apposite apparecchiature traducono questi impulsi in segnali digitali. Ogni singola fibra ha uno spessore paragonabile al diametro di un

capello umano, ma è in grado di trasportare terabit²¹ di informazioni al secondo. I sistemi *wireless* e satellitari, infatti, utilizzano uno spettro di frequenze limitato e soggetto a stringenti regolamentazioni internazionali, circostanza che si traduce in una capacità trasmissiva inferiore rispetto a quella della fibra ottica. Infine, i segnali radio e satellitari sono più vulnerabili ai fenomeni di attenuazione e interferenza, dovuti a condizioni atmosferiche, ostacoli fisici o congestione dello spettro elettromagnetico. Mentre un collegamento transoceanico in fibra ottica garantisce tempi di trasmissione – la cosiddetta latenza²² – molto contenuti, i satelliti richiedono che i dati percorrano decine di migliaia di chilometri, con conseguenti ritardi percepibili nelle comunicazioni in tempo reale.

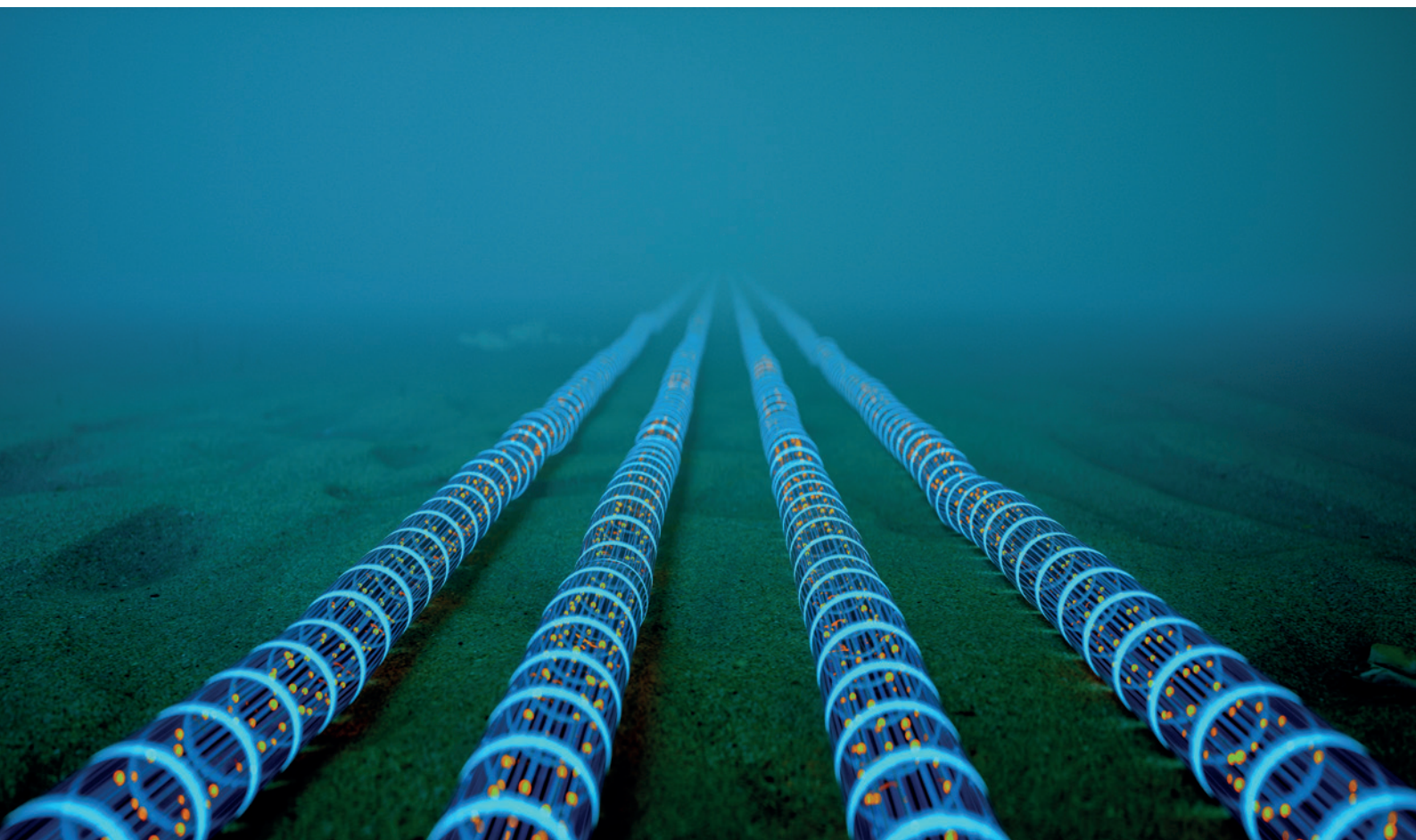
Per resistere alle condizioni estreme dell'ambiente marino, le fibre ottiche sono protette da più strati di isolamento e rinforzo. Questi includono generalmente rivestimenti plastici, guaine in rame o alluminio per la conduzione elettrica e, in molti casi, fili d'acciaio per una maggiore resistenza. Il livello di protezione varia a seconda della posizione. In acque poco pro-

fonde, vicino alla costa – dove i cavi sono più esposti a rischi derivanti da ancore, attività di pesca o altre operazioni marittime – essi sono realizzati con strati aggiuntivi di armatura in acciaio e vengono spesso interrati sotto il fondale marino. In mare aperto, dove si riducono i rischi derivanti dalle regolari attività marittime, i cavi sono in genere posati da navi specializzate direttamente sul fondale, con armature più leggere, così da contenere i costi e mantenere flessibilità, evitando faglie geologiche, zone sismiche attive e aree ad alta intensità di traffico marittimo.

La vita media di un cavo sottomarino è stimata in circa 25 anni. Sebbene molti cavi possano continuare a funzionare anche oltre tale periodo, essi tendono a diventare obsoleti dal punto di vista economico, poiché le nuove infrastrutture garantiscono capacità di trasmissione e livelli di efficienza superiori.

21 Un terabit (Tb) corrisponde a circa 125 gigabyte (GB) di dati. Se un film in qualità 4K occupa 25 GB alla velocità di un terabit al secondo si potrebbero scaricare 5 film in 4k in un secondo.

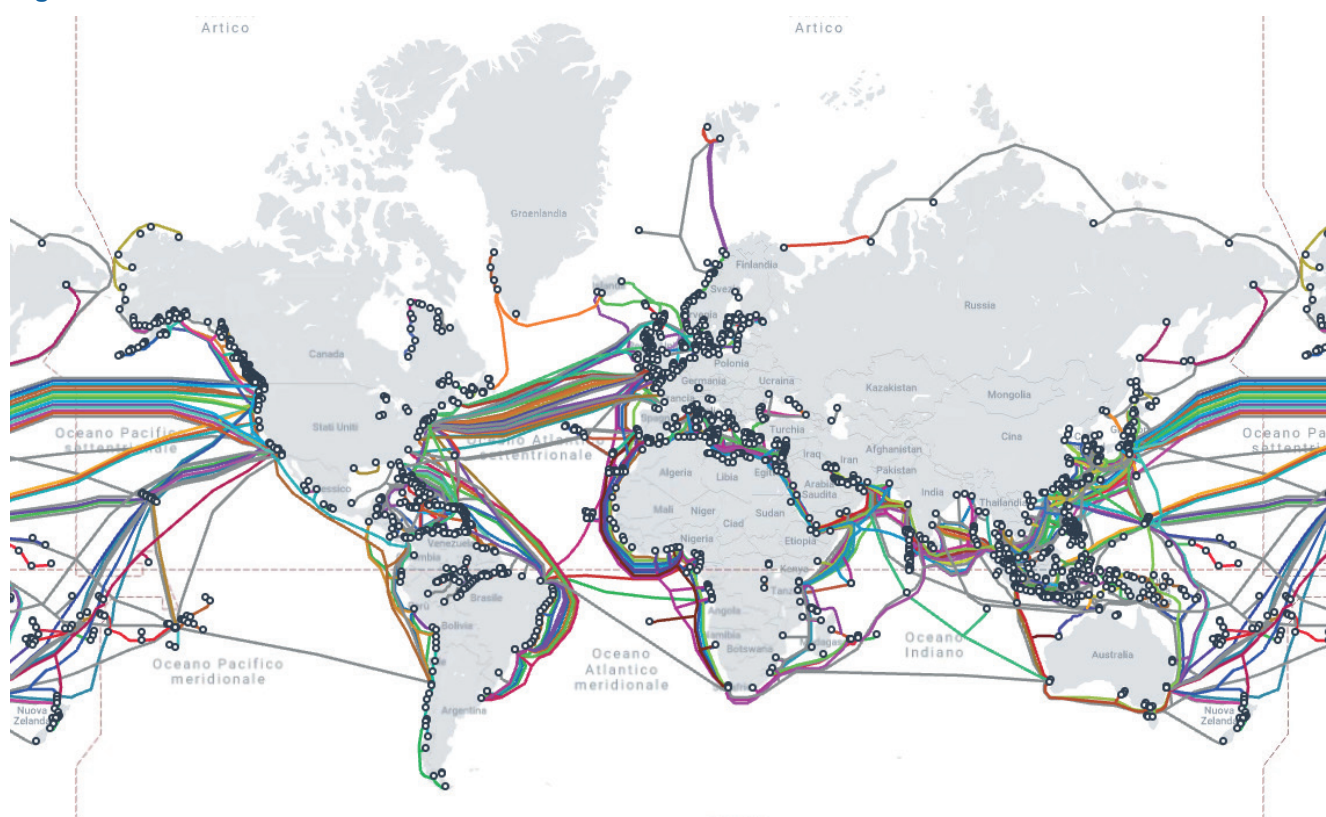
22 Nelle comunicazioni elettroniche, la latenza è il tempo che impiega un segnale o un dato per andare dal punto di partenza a quello di arrivo.



6.2 La rete mondiale

La rete sottomarina è attualmente composta da oltre 570 cavi e supera 1,5 milioni di chilometri di estensione (TeleGeography, 2026). Nel solo 2024 sono stati installati oltre 200.000 km di nuovi cavi sottomarini (OECD, 2025).

Figura 6: La rete di cavi sottomarini



Fonte: UNEP-WCMC and ICPC (2025)

I cavi sottomarini sono stati storicamente finanziati e gestiti da operatori di telecomunicazioni, spesso riuniti in consorzi internazionali, permettendo così di ripartire gli elevati costi fissi di investimento e di condividere i diritti d'uso della capacità trasmissiva. SeaMeWe-4²³, per esempio, è un cavo di 20.000 km che collega Francia e Singapore passando da una decina

di Paesi tra i quali Italia, Egitto, Arabia Saudita e India ha tra i proprietari società quali Algerie Telecom, Orange, Pakistan Telecommunications Company, Sparkle, Sri Lanka Telecom, Tata Communications, Telecom Egypt e Verizon.

A partire dalla fine degli anni Novanta, si è affermato

23 <https://www.submarinecablemap.com/submarine-cable/seamewe-4>

un modello alternativo con l'ingresso di imprese private che hanno costruito cavi sottomarini al di fuori della cornice consortile. In questo caso, la proprietà rimane concentrata in un singolo soggetto, che cede capacità a terzi attraverso contratti commerciali. Questo ha favorito l'introduzione di una maggiore concorrenza, ampliando l'accesso alle risorse di trasmissione e accelerando i processi di espansione della capacità internazionale, in concomitanza con la rapida crescita della domanda di banda legata alla diffusione di Internet. AEC-1²⁴, per esempio, è un cavo di 5.521 km che collega gli Stati Uniti e l'Irlanda ed è controllato da Aqua Comms, una società che non è né fornitore di servizi di telecomunicazione, né di contenuti digitali (i cosiddetti *over-the-top*), né di tecnologia.

Ultimamente sono entrate sul mercato dei cavi le società tradizionalmente fornitrici di contenuti digitali. In

questo campo Google è quella più attiva controllando cavi quali Dunant (6.400 km che collegano Stati Uniti e Francia), Equiano (15.000 km che collegano Portogallo e Sud Africa passando da Nigeria e Namibia), Grace Hopper (7.191 km che collegano Stati Uniti a Regno Unito e Spagna). A febbraio 2025 Meta ha annunciato Project Waterworth²⁵, il cavo più lungo del mondo che collegherà per 50.000 km Stati Uniti, Brasile, Sud Africa, India e Australia.

Oltre ai cavi transoceanici appena citati, anche il mercato dei cavi più corti che connettono nodi dello stesso Paese evidenzia un chiaro sviluppo. Questo per esempio è il caso dell'italiano Piano Isole Minori²⁶ - di proprietà di Infratel Italia che dal dicembre 2024 collega tutte le isole minori ai nodi della rete principale, con una lunghezza complessiva di 840km.

6.3 L'IA come driver di crescita della rete sottomarina

Negli ultimi anni si è registrato un significativo incremento degli investimenti nella costruzione e nell'espansione della rete di cavi sottomarini.

Tale processo è stato guidato dalla crescita esponenziale dell'utilizzo di Internet a livello globale, dalla diffusione dei *data center*²⁷ e dal crescente bisogno di trasmissione di dati ad alta capacità e bassa latenza tra continenti. L'evoluzione della domanda, sulla base dei dati di Telegeography relativi al periodo 2019-2023, ha richiesto la gestione di un volume di dati su scala internazionale triplicato in soli quattro anni.

L'Intelligenza Artificiale (IA) rappresenta un fattore determinante di questa domanda. La diffusione di ap-

plicazioni basate sull'IA richiede enormi volumi di dati da addestrare, trasmettere e archiviare. Queste applicazioni non solo intensificano il consumo di banda, ma richiedono anche una connettività globale stabile e resiliente per garantire prestazioni efficienti.

Inoltre, è prevedibile che l'evoluzione delle applicazioni di IA sarà caratterizzata da un fabbisogno crescente di capacità di calcolo. Tale capacità è garantita da *data center* di grandi dimensioni, all'interno dei quali sono concentrati *server* ad alte prestazioni che richiedono una quantità significativa di energia elettrica, sia per l'alimentazione dei processori sia per i sistemi di raffreddamento. Per ragioni di efficienza energetica, disponibilità di risorse e convenienza economica, i *data center* non sono necessariamente localizzati nelle aree in cui si concentra la domanda di servizi di intelligenza artificiale.

24 <https://www.submarinecablemap.com/submarine-cable/aec-1>

25 <https://www.submarinecablemap.com/submarine-cable/project-waterworth>

26 <https://www.submarinecablemap.com/submarine-cable/piano-isole-minori>

27 Un *data center* è una struttura fisica che ospita grandi quantità di server, utilizzati per elaborare, memorizzare e distribuire dati digitali.

Questa distanza geografica tra i luoghi di produzione ed elaborazione dei dati e quelli di utilizzo finale rende cruciali l'affidabilità e la capacità delle infrastrutture di telecomunicazione globale. In questo contesto, i cavi sottomarini a fibra ottica rappresentano un ele-

mento imprescindibile per assicurare la trasmissione di grandi volumi di dati ed è pertanto prevedibile che questa rete continuerà a espandersi, accompagnando la diffusione e l'intensificazione dell'uso dell'intelligenza artificiale su scala mondiale.

6.4 La questione ambientale

L'installazione e la manutenzione dei cavi sottomarini rappresentano le fasi a maggiore impatto ambientale lungo il ciclo di vita di tali infrastrutture.

Le operazioni di posa e di interrimento nei fondali marini possono causare disturbi fisici agli habitat, in particolare con la sospensione dei sedimenti, che aumenta la torbidità delle acque e può compromettere la funzionalità ecologica di ecosistemi sensibili quali le barriere coralline. A questi effetti si aggiungono le pressioni derivanti dal rumore subacqueo e dall'inquinamento associato alle navi impiegate per le operazioni, nonché – sebbene in misura marginale – il rischio di rilascio di metalli o di sostanze intrappolate nei sedimenti.

In ambiente profondo, l'impatto complessivo appare più limitato e circoscritto, ma le conoscenze scientifiche sugli effetti a lungo termine dei cavi sugli ecosistemi abissali risultano ancora lacunose.

Anche le operazioni di manutenzione e di dismissione possono replicare i disturbi propri della fase di installazione, generando perturbazioni locali del fondale. Per quanto riguarda la gestione del fine vita, i cavi dismessi possono essere lasciati *in situ*, soprattutto nelle acque profonde, dove la rimozione risulterebbe sproporzionatamente impattante sotto il profilo ambientale. In alternativa, essi possono essere recuperati e riciclati, opzione preferibile nelle aree costiere o lungo rotte già densamente occupate da altre infrastrutture. I materiali estratti – rame, acciaio, polietilene e fibre di vetro – possono contribuire a ridurre l'estrazione di nuove risorse e a promuovere pratiche

di economia circolare.

Nel complesso, le evidenze scientifiche disponibili suggeriscono che l'impronta ecologica dei cavi sottomarini sia contenuta, ma non del tutto trascurabile, in particolare nelle zone costiere caratterizzate da elevata biodiversità (UNEP-WCMC e ICPC, 2025).

In considerazione della necessità crescente di sostituire cavi sottomarini al termine della loro vita utile (in media in 25 anni), si sono sviluppate società specializzate in questo ambito, con l'obiettivo di valorizzare logiche di economia circolare. Ad esempio, nel 2025, Oceanic Environmental Cables ha acquisito dall'italiana Sparkle 22.000 km di cavi nel Mediterraneo, con una stima di un risparmio di ben 35.000 tonnellate di CO₂ grazie alla possibilità di rigenerare e riutilizzare i cavi.

6.5 La geopolitica della rete sottomarina

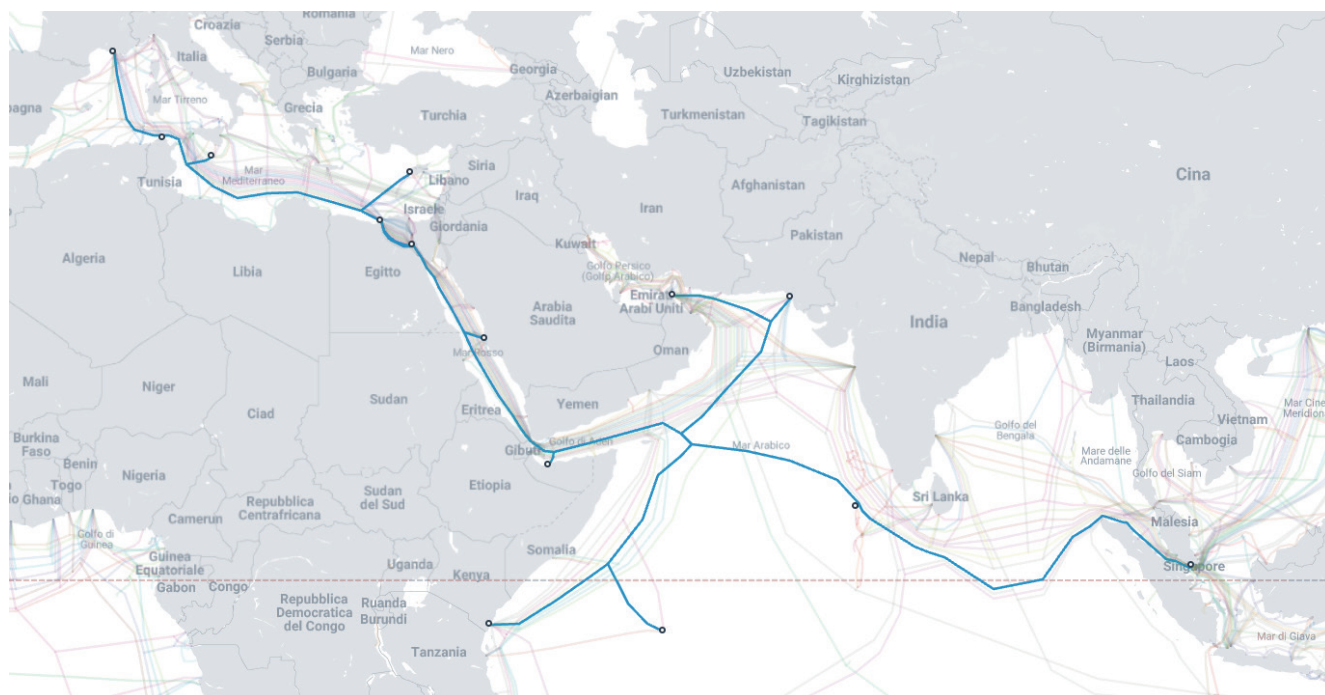
Il lancio della Via della Seta Digitale (Digital Silk Road - DSR) nel 2015 – due anni dopo l'introduzione della Belt and Road Initiative (BRI) – ha rappresentato l'avvio di una nuova fase della competizione globale per la connettività digitale, con particolare riferimento all'infrastruttura dei cavi sottomarini.

La DSR, concepita come estensione digitale della BRI, mira a ridurre la dipendenza tecnologica dall'Occidente supportata dalle politiche industriali di Made in China 2025 e a rafforzare la proiezione internazionale della Cina in ambiti strategici quali le telecomunicazioni, l'e-commerce e la navigazione satellitare. Secondo Oreglia (2024), sulla DSR ci sono poche

informazioni ufficiali sui progetti, sui fondi disponibili e sui Paesi partner. Tuttavia le imprese cinesi stanno rapidamente ampliando la loro presenza nell'industria della costruzione e manutenzione dei cavi sottomarini anche grazie ai sussidi governativi. HMN Tech (già Huawei Marine) è diventata il quarto maggiore costruttore di cavi a livello globale, dopo SubCom (Stati Uniti), Alcatel Submarine Networks (Francia) e NEC (Giappone) (Koshino, 2024).

Tuttavia un paio di esempi dimostrano come i cavi sottomarini possono diventare strumenti di politica estera per la Cina. Il primo esempio è PEACE (Pakistan and East Africa Connecting Europe) Cable²⁸, un cavo di 25.000 km che collega la Francia a Singapore, toccando l'Egitto, l'Arabia Saudita, il Kenya e il Pakistan (Figura 7). La proprietà è di un consorzio basato ad Hong Kong con partner quali China Mobile, China Telecom e China Unicom. Il secondo esempio è SAIL (South Atlantic Inter Link)²⁹, un cavo di 5.800 km che collega il Brasile e il Camerun di proprietà di China Unicom e della camerunense Camtel.

Figura 7 : Il PEACE cable



Fonte: www.submarinecablemap.com

28 <https://www.submarinecablemap.com/submarine-cable/peace-cable>

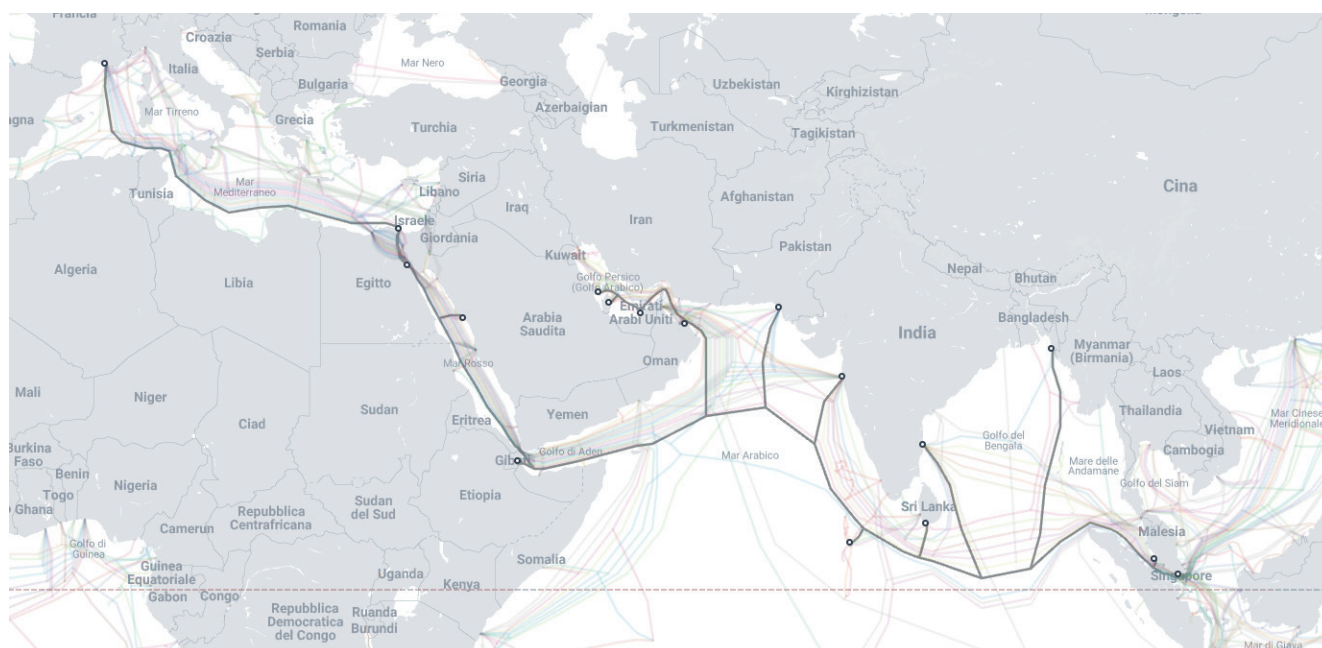
29 <https://www.submarinecablemap.com/submarine-cable/south-atlantic-inter-link-sail>

Sebbene la loro quota di mercato resti inferiore al 10 per cento, l'influenza strategica della Cina in questo settore è in crescita, riflettendo sia il valore geopolitico di alcuni progetti, sia le ambizioni di lungo periodo della strategia di connettività digitale promossa da Pechino (Koshino, 2024).

Per questo motivo gli Stati Uniti hanno adottato politiche di contenimento quali restrizioni all'impiego di componentistica cinese nei cavi che approdano sul proprio territorio, e hanno negato autorizzazioni a

progetti con la partecipazione di imprese cinesi. Un esempio è il caso SeaMeWe-6³⁰ un cavo di 21.700 km che, come il PEACE cable, collega la Francia a Singapore (Figura 8). Inizialmente assegnato alla cinese HMN Tech, il progetto è stato successivamente affidato alla statunitense SubCom a seguito delle pressioni diplomatiche esercitate da Washington per evitare che la posizione della Cina, già presente con PEACE, si rafforzasse nell'area.

Figura 8: Il SeaMeWe-6



Fonte: www.submarinecablemap.com

Un altro esempio è il cavo Pacific Light Cable Network (PLCN)³¹ era stato progettato per collegare Stati Uniti, Hong Kong, Taiwan e Filippine. La rete è stata poi realizzata eliminando il nodo di Hong Kong in quanto il Dipartimento di Giustizia statunitense lo aveva ritenuto esposto all'influenza di Pechino. Inoltre, gli Stati Uniti hanno esercitato pressioni diplomatiche affinché Paesi terzi optassero per fornitori alternati-

vi. Nel 2024 gli Stati Uniti hanno spinto il Vietnam ad evitare l'impiego di fornitori cinesi, in particolare HMN Technologies, per i nuovi progetti di cavi sottomarini (Reuters, 2024).

Anche l'UE svolge un ruolo crescente in questo settore. Nell'ambito dell'iniziativa Global Gateway³², l'UE ha sostenuto lo sviluppo di grandi collegamenti interna-

30 <https://www.submarinecablemap.com/submarine-cable/seamewe-6>

31 <https://www.submarinecablemap.com/submarine-cable/pacific-light-cable-network-plcn>

32 Comunicazione congiunta al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo, al Comitato delle regioni e alla Banca europea per gli investimenti, "Il Global Gateway". JOIN (2021) 30 final dell'1 dicembre 2021.

zionali, tra cui Medusa³³ (8.760 km dal Portogallo all'Egitto), nel Mediterraneo, e Africa-1³⁴ (10.000 km dalla Francia al Pakistan, passando per l'Arabia Saudita).

Parallelamente, l'UE ha rafforzato la protezione delle infrastrutture esistenti. Nel giugno 2026 la Commissione europea³⁵ ha finanziato con 5,8 milioni di euro

i primi due Regional Cable Hubs, nel Baltico e nel Mediterraneo, destinati a migliorare la sorveglianza, condivisione delle informazioni e coordinamento in caso di minacce o incidenti. L'UE ha inoltre avviato un bando da 40 milioni di euro per potenziare la capacità europea di riparazione dei cavi.

6.6 Il danneggiamento dei cavi sottomarini

Ogni anno vengono segnalati fino a 200 casi di danneggiamento ai cavi sottomarini. La maggior parte di questi episodi avviene in acque poco profonde ed è di natura accidentale, spesso causata da attrezzature da pesca, come le reti a strascico trascinate sul fondale (ICPC, 2025).

Tali eventi raramente emergono all'attenzione pubblica poiché, come già spiegato, gli operatori adottano strategie di resilienza basate sulla ridondanza e sulla diversificazione. Tuttavia, recenti atti dolosi di sabotaggio, pur meno frequenti di eventi accidentali, stanno sollevando preoccupazioni in termini di sicurezza.

Il 7 gennaio 2022 si è verificata l'interruzione del cavo sottomarino Svalbard Undersea Cable System³⁶ che collega l'arcipelago delle Svalbard alla terraferma norvegese. Sebbene il cavo fosse stato interrato a circa due metri di profondità per proteggerlo dalle reti

a strascico, i solchi che lo hanno danneggiato sono compatibili con attrezzi da pesca trainati in passaggi ripetuti, suggerendo dunque la possibilità di un'azione intenzionale. Secondo la radiotelevisione norvegese NRK (2024), il peschereccio russo Melkart-5 avrebbe incrociato il tracciato del cavo decine di volte nei giorni immediatamente precedenti al guasto.

Nel febbraio-marzo 2023 due cavi sottomarini che collegano l'isola di Matsu (un arcipelago amministrato da Taipei ma situato a pochi chilometri dalla costa cinese del Fujian) sono stati danneggiati nel giro di pochi giorni da due navi cinesi (AP News, 2023).

Nel settembre 2025, il Financial Times³⁷ ha pubblicato un articolo secondo il quale la nave russa Yantar, ufficialmente classificata come unità di ricerca oceanografica ma collegata al Direttorato Glavnoye Upravlenie Glubokovodnykh Issledovaniy (GUGI)³⁸, ha trascorso mesi navigando dalle coste della penisola di Kola, intorno alla Norvegia, attraverso la Manica e fino al Mediterraneo, sostando nei pressi di tratte che ospitano cavi sottomarini fondamentali per le comunicazioni europee.

L'insieme di queste dinamiche conferma come i cavi

33 <https://www.submarinecablemap.com/submarine-cable/medusa-submarine-cable-system>

34 <https://www.submarinecablemap.com/submarine-cable/africa-1>

35 <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/commission-funds-first-regional-cable-hubs-and-launches-eu40-million-call-cable-repair-capacity>

36 <https://www.submarinecablemap.com/submarine-cable/svalbard-undersea-cable-system>

37 <https://www.ft.com/content/0b351091-3f82-4f2f-bef2-a52a35f009f2>

38 Il GUGI è una struttura segreta della Marina russa specializzata in operazioni sottomarine che risponde direttamente al Ministero della Difesa e in particolare allo Stato Maggiore.

sottomarini, un tempo percepiti come meri dispositivi tecnici, si configurino oggi quali asset strategici. Gli incidenti citati a titolo esemplificativo evidenziano non solo la vulnerabilità fisica delle infrastrutture subacquee, ma anche la difficoltà di attribuire con certezza le responsabilità in spazi marittimi contesi. Di conseguenza sono aumentate le iniziative per una cooperazione internazionale più efficace come quella in ambi-

to International Cable Protection Committee (ICPC)³⁹, della NATO⁴⁰ e quello dell'Unione Europea (UE).

Nel febbraio 2025 la Commissione europea (2025) ha presentato un Piano d'Azione per la Sicurezza dei Cavi⁴¹ fondato su quattro priorità come sintetizzato nella tabella successiva:

Figura 9: Le priorità del Piano d'Azione per la Sicurezza dei Cavi della Commissione Europea del 2025

Priorità	Implicazioni
Prevenzione	Piena attuazione delle direttive secondo le quali gli Stati membri devono mappare le infrastrutture critiche, valutare i rischi e definire strategie di resilienza, rafforzamento degli investimenti tramite il Connecting Europe Facility - Digital ⁴² e il Global Gateway ⁴³ , promozione di cavi ridondanti e "intelligenti" ⁴⁴
Rilevamento	Creazione di un meccanismo di sorveglianza integrata per bacini marittimi (per esempio il Mar Baltico), utilizzo di droni, sensori e reti di monitoraggio, rafforzando la cooperazione civile-militare e con la NATO
Risposta e riparazione	Coordinamento tra Stati membri e UE in caso di crisi, sviluppo di una flotta europea di riserva di navi posacavi e stoccaggio di pezzi di ricambio per riparazioni rapide.
Deterrenza	Rafforzare la capacità di usare sanzioni e contrastare la cosiddetta "flotta ombra" ⁴⁵ , promuovere norme internazionali per la protezione delle infrastrutture

Fonte: Elaborazioni SDA Bocconi da fonti della Commissione Europea

39 L'International Cable Protection Committee (ICPC), in collaborazione con l'ITU, ha promosso nel novembre 2024 la creazione dell'International Advisory Body for Submarine Cable Resilience, con l'obiettivo di proteggere i cavi sottomarini sempre più esposti a rischi di guasti e atti ostili.

40 Nel febbraio 2023 la NATO ha istituito la Undersea Infrastructure Coordination Cell (nota anche come the Cell), con il compito di rafforzare la protezione delle infrastrutture sottomarine critiche grazie ad una mappatura delle vulnerabilità e al coordinamento degli sforzi tra Alleati, partner e settore privato.

41 Joint Communication to the European Parliament and the Council: "EU Action Plan on Cable Security" del 21 Febbraio 2025 e la Raccomandazione (UE) 2024/779 della Commissione, del 26 marzo 2024.

42 Il CEF – Digital è uno strumento finanziario dell'UE per sostenere lo sviluppo di infrastrutture digitali transfrontaliere.

43 Il Global Gateway è la strategia dell'UE per sostenere investimenti infrastrutturali quali cavi sottomarini per collegare l'Europa ad Africa, America Latina e Asia, riducendo la dipendenza da rotte concentrate e da fornitori considerati ad alto rischio. Uno dei progetti è il Blue-Raman, un cavo di 11.700 km che connette Europa, Medio Oriente, Africa orientale e India.

44 I cavi intelligenti sono quelli che, grazie a dei sensori, possono monitorare le attività circostanti, anticipare minacce e vulnerabilità, fungendo da sistema di allerta precoce per proteggere l'infrastruttura di cavi stessa e l'ambiente circostante, per scopi sia civili (ad esempio il monitoraggio ambientale) che militari.

45 Si tratta di navi spesso vecchie, in pessime condizioni, di cui non si conoscono i proprietari e condizioni assicurative, utilizzate per eludere le sanzioni.

6.7 I progetti per la realizzazione di data center sottomarini

In relazione alla crescente diffusione dell'intelligenza artificiale e al conseguente fabbisogno di capacità computazionale e di trasmissione dati, si stanno moltiplicando i progetti dedicati ai data center collocati sul fondale marino.

Tale soluzione promette una serie di vantaggi: l'impiego diretto dell'acqua marina come sistema di raffreddamento naturale ed efficiente, con un significativo contenimento dei consumi energetici per la climatizzazione; la riduzione della distanza fisica tra server e utenti finali nei centri urbani costieri, elemento in grado di diminuire la latenza nei servizi digitali quali *cloud storage*, *streaming* audiovisivo e applicazioni di IA.

Un ulteriore beneficio consiste nella possibilità di realizzare moduli prefabbricati a terra e successivamente collocarli in mare, eludendo i tempi e i vincoli autorizzativi propri delle infrastrutture tradizionali e attenuando le resistenze sociali note con l'acronimo NIMBY (Not In My BackYard). Una volta sigillate e immerse, tali strutture risultano inoltre isolate da polvere, ossigeno e interferenze umane, condizioni che nei test sperimentali hanno contribuito a registrare tassi di guasto sensibilmente inferiori rispetto ai data center terrestri.

Permangono, tuttavia, significative criticità. Le operazioni di manutenzione sono complesse e onerose, poiché in alcuni casi richiedono il recupero dell'intera unità per consentire interventi tecnici. L'integrazione con le infrastrutture elettriche e di rete esistenti comporta rilevanti investimenti in ingegneria subacquea, sebbene la vicinanza agli approdi dei cavi sottomarini rappresenti un vantaggio strategico. Restano in-

fine aperti interrogativi circa gli impatti ambientali di lungo periodo, in particolare per quanto concerne la dispersione termica e la presenza di strutture artificiali di grandi dimensioni sui fondali.

Una delle iniziative più note è il Project Natick di Microsoft⁴⁶, che ha visto la realizzazione di un cilindro sigillato contenente oltre 800 server immerso al largo delle isole Orcadi in Scozia. Alimentata interamente da fonti rinnovabili eoliche e marine, l'unità ha dimostrato non solo efficienza energetica ma anche un'elevata affidabilità: i tassi di guasto in ambiente subacqueo si sono rivelati pari a un ottavo di quelli registrati in data center terrestri comparabili. L'esperimento si è concluso nel 2020, con il recupero della struttura che non è più in funzione⁴⁷. Sebbene concepito come progetto temporaneo e non come infrastruttura permanente, Natick ha fornito conoscenze preziose per altri progetti.

In Cina, Hainan Underwater Data Center⁴⁸ rappresenta uno dei progetti più avanzati di data center sottomarini. Realizzato al largo di Lingshui, nell'isola di Hainan, il progetto è sviluppato principalmente dalla società tecnologica cinese Beijing Highlander Digital Technology, in collaborazione con partner industriali e soggetti locali e con il sostegno delle autorità di Hainan. Nel 2023 è entrato in funzione il primo modulo commerciale sommerso e nel 2025 l'infrastruttura è stata ampliata con un nuovo modulo in grado di ospitare oltre 400 server ad alte prestazioni, formando un cluster destinato anche ad applicazioni di intelligenza artificiale. Il progetto prevede un'ulteriore espansione, fino a 100 moduli sottomarini.

Subsea Cloud⁴⁹ è una società statunitense che vende data center sottomarini superando la dimensione sperimentale di progetti come Microsoft Natick. La società sviluppa moduli prefabbricati e sigillati, destinati a essere immersi in acque costiere poco

46 <https://news.microsoft.com/source/features/sustainability/project-natick-underwater-datacenter>

47 <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/microsoft-confirms-project-natick-underwater-data-center-is-no-more>

48 <https://www.scientificamerican.com/article/china-powers-ai-boom-with-undersea-data-centers>

49 <https://www.subseacloud.com>

profonde. Attualmente dichiara unità dispiegate negli Stati Uniti, in Asia e in Norvegia.

In California, la startup NetworkOcean⁵⁰ progetta *data center* sottomarini e intende testare un prototipo nella Baia di San Francisco. Il progetto è pensato per supportare carichi di lavoro legati all'intelligenza

artificiale, vicino alla Silicon Valley. Tuttavia, l'iniziativa è ancora in fase sperimentale e non ha ottenuto le autorizzazioni ufficiali: le autorità locali temono possibili impatti ambientali, in particolare sul delicato ecosistema della baia, che potrebbe risentire anche di un lieve aumento della temperatura delle acque.

6.8 Il Mar Mediterraneo

Nel contesto del Mar Mediterraneo, l'importanza strategica dei cavi sottomarini risulta amplificata dalla funzione di questa regione quale ponte infrastrutturale tra Europa, Africa e Asia attraverso il Canale di Suez.

Alcuni centri urbani si distinguono per la densità di approdi: Marsiglia in Francia è divenuta il principale snodo europeo nel Mediterraneo, connesso a numerosi cavi che la collegano tanto all'Atlantico quanto al Medio Oriente e al Nord Africa; in Italia, Palermo e Genova rivestono un ruolo rilevante, ospitando rispettivamente i punti di approdo di diversi sistemi euro-africani e transmediterranei; in Grecia, Atene e Chania (Creta) fungono da nodi essenziali per le tratte verso il Levante; mentre sul versante meridionale, in Egitto, Alessandria e Port Said rappresentano gli sbocchi

strategici per i cavi che transitano attraverso il Mar Rosso. Ne consegue che l'importanza del Mediterraneo vada oltre quella del bacino geografico per diventare uno spazio infrastrutturale critico, crocevia delle comunicazioni digitali. Tuttavia, la concentrazione di infrastrutture in punti geografici limitati, come gli stretti marittimi e i canali artificiali, evidenzia la vulnerabilità a rischi derivanti da guasti tecnici, eventi naturali o minacce intenzionali. In tale prospettiva, assume particolare rilevanza la diversificazione geografica delle rotte e dei punti di approdo, al fine di ridurre l'eccessiva concentrazione delle infrastrutture su pochi hub, a partire da Marsiglia. Per l'Italia, ciò apre l'opportunità di valorizzare non soltanto gli approdi tirrenici e liguri, ma anche il versante adriatico, sviluppando direttrici alternative verso i Balcani, la Grecia e il Mediterraneo orientale. In questa direzione si colloca, ad esempio, il progetto GreenMed⁵¹ volto a sviluppare attraverso il Mare Adriatico un nuovo corridoio digitale tra l'Europa centrale, i Balcani e il Mediterraneo centro-orientale.

50 <https://www.networkocean.io>

51 <https://www.gruppottim.it/it/archivio-stampa/sparkle/2023/CS-Sparkle-GreenMed-Ita-22-12-23.html>

6.9 Le opportunità per il sistema Italia

La posizione geografica dell'Italia, al centro del bacino del Mediterraneo, le conferisce un ruolo strategico nella rete globale dei cavi sottomarini in quanto collega l'Europa con il Medio Oriente, l'Africa e, attraverso il Canale di Suez, l'Asia. Il Paese ospita stazioni di approdo di cavi sottomarini, quali Mazara del Vallo⁵², Catania⁵³, Bari⁵⁴ e Genova⁵⁵. Queste città possono beneficiare di opportunità legate alla costruzione, manutenzione e gestione delle stazioni di approdo e delle relative infrastrutture in quanto sono richiesti servizi di supporto, forniture tecniche e manodopera specializzata.

Questa configurazione apre opportunità di business significative per le imprese italiane. Innanzitutto nel settore dei cavi sottomarini, Sparkle e Retelit sono aziende italiane nel settore dei cavi sottomarini e gestiscono molte stazioni di approdo nel Paese. A confermare la strategicità di questa infrastruttura, nel 2025 è stata annunciata la vendita di Sparkle da TIM al consorzio guidato dal Ministero dell'Economia e delle Finanze (MEF) con Retelit. L'operazione è stata sottoposta alla disciplina del Golden Power, prevista per la tutela degli asset di rilevanza strategica nazionale⁵⁶.

Nella filiera industriale dei cavi e delle tecnologie sottomarine spicca Prysmian Group, leader mondiale nei sistemi in cavo e nelle relative tecnologie. Sul fronte delle infrastrutture di telecomunicazione, Unitirreno Submarine Network ha realizzato il cavo Uni-

tirreno⁵⁷, operativo dal 2025, che collega Mazara del Vallo, Olbia, Roma e Genova. Un ruolo specifico nella posa e manutenzione dei cavi sottomarini di telecomunicazione è inoltre svolto da Elettra Tlc, specializzata nelle attività marine di ricognizione dei fondali, installazione, manutenzione e riparazione.

A queste realtà si affiancano le imprese della logistica portuale, delle opere marittime e dell'ingegneria subacquea, che possono fornire servizi nelle fasi di approdo, installazione e protezione dei cavi. Gruppi come Fincantieri e Saipem dispongono inoltre di competenze nella cantieristica, nell'offshore e nelle infrastrutture sottomarine potenzialmente applicabili allo sviluppo e alla protezione delle reti di telecomunicazione sottomarine.

Altri beneficiari indiretti si trovano nel settore dei data center e dei servizi digitali come Aruba, Milan Internet Exchange (MIX), le infrastrutture di Equinix a Genova e le stesse stazioni Sparkle a Bari e Catania traggono vantaggio dalla prossimità con i punti di approdo, offrendo servizi a bassa latenza a operatori globali e fornitori di servizi digitali over-the-top.

Infine, nel comparto della sicurezza e difesa, aziende come Leonardo, Fincantieri e il sistema della Marina Militare, attraverso il Polo Nazionale della Dimensione Subacquea, sono coinvolti nella protezione fisica e cibernetica delle infrastrutture, generando opportunità di mercato in sensoristica, cybersecurity e sorveglianza.

52 <https://www.submarinecablemap.com/landing-point/mazara-del-vallo-italy>

53 <https://www.submarinecablemap.com/landing-point/catania-italy>

54 <https://www.submarinecablemap.com/landing-point/bari-italy>

55 <https://www.submarinecablemap.com/landing-point/genoa-italy>

56 Tra queste vi sono l'obbligo di mantenere in Italia il controllo e la gestione delle infrastrutture critiche, prescrizioni sulla composizione del consiglio di amministrazione con la presenza di figure responsabili della sicurezza, vincoli sulla protezione e localizzazione dei dati sensibili, oltre a procedure di notifica preventiva in caso di modifiche societarie o tecnologiche rilevanti.

57 <https://www.submarinecablemap.com/submarine-cable/unitirreno>

7

LA CRESCENTE RILEVANZA DELLE INFRASTRUTTURE MINERARIE SOTTOMARINE



Materie prime come litio, cobalto, nichel e terre rare sono fondamentali per le transizioni verde e digitale, nonché per i settori della difesa e aerospaziale. La domanda di queste materie prime è aumentata negli ultimi anni e si prevede che continuerà a farlo.

L'estrazione di questi materiali sulla terraferma è già ben consolidata, e l'offerta si è concentrata in pochi paesi, rendendo la loro disponibilità globale dipendente dalle relazioni commerciali e vulnerabile a interruzioni dell'approvvigionamento che possono derivare da restrizioni all'esportazione, instabilità politica o disastri naturali.

Stiamo quindi assistendo a un crescente interesse per progetti di estrazione mineraria in acque profonde. Uno spazio di milioni di chilometri quadrati da utilizzare sia per rispondere alla crescente domanda, sia per una diversificazione delle fonti in un contesto di competizione geopolitica. Secondo Hein e Mizell (2022), se l'estrazione mineraria in acque profonde seguirà l'evoluzione della produzione petrolifera offshore, si stima che entro il 2065 circa il 35 – 45 per cento della domanda di metalli essenziali provverrà dalle miniere in acque profonde.

L'attività estrattiva sui fondali marini si svolge principalmente in tre fasi: esplorazione, sfruttamento (estrazione o raccolta) e trasporto (Zhang Q. et al., 2025).

L'esplorazione si realizza con navi oceanografiche e veicoli autonomi che mappano il fondale marino e individuano depositi minerari. Una volta localizzati i minerali, entrano in azione macchine sottomarine per estrarre oppure per raccogliere i minerali (nel caso di croste o solfuri attaccati alla roccia è necessario frantumare e scavare, nel caso di noduli polimetallici depositati sul fondale si raccolgono con l'aiuto di bracci meccanici, sistemi di aspirazione o rulli rotanti e poi convogliati in un sistema di tubazioni verticali) che vengono poi trasportati attraverso condotte verso la superficie. Il materiale raccolto viene caricato su navi di appoggio e trasportato verso il porto.

Nonostante i progetti di attività estrattiva sottomarina fossero stati avviati già negli anni Settanta, è soltanto da una ventina d'anni che il tema è tornato di attualità, complice la crescente domanda di risorse il cui prezzo è cresciuto e i significativi progressi tecnologici. Infatti, si tratta di un'attività estrattiva da realizzare a profondità estreme, in uno degli ambienti più ostili e difficili da raggiungere del pianeta. Allo stato attuale, l'evoluzione tecnologica ha reso queste operazioni più accessibili: sono disponibili sensori avanzati per la mappatura ad alta precisione dei fondali oceanici, veicoli sottomarini a comando remoto capaci di operare a grandi profondità, sistemi di trivellazione sottomarina ad alta precisione e piattaforme navali integrate per la raccolta, il trattamento e il trasporto dei minerali. In ogni caso, nonostante queste rapide evoluzioni tecnologiche, il pieno sfruttamento commerciale del sea-mining non ha ancora trovato un equilibrio economico in nessuno dei principali settori (Zhang Q. et al., 2025).

7.1 I minerali disponibili nei fondali marini

L'estrazione mineraria dei fondali marini attualmente al centro dell'interesse mira a tre principali categorie di risorse:

1. noduli polimetallici;
2. solfuri polimetallici;
3. croste ferromanganesifere.

I noduli polimetallici sono piccole concrezioni metalliche della dimensione di una patata, ricche di manganese, nichel, cobalto e rame. Si formano lentamente

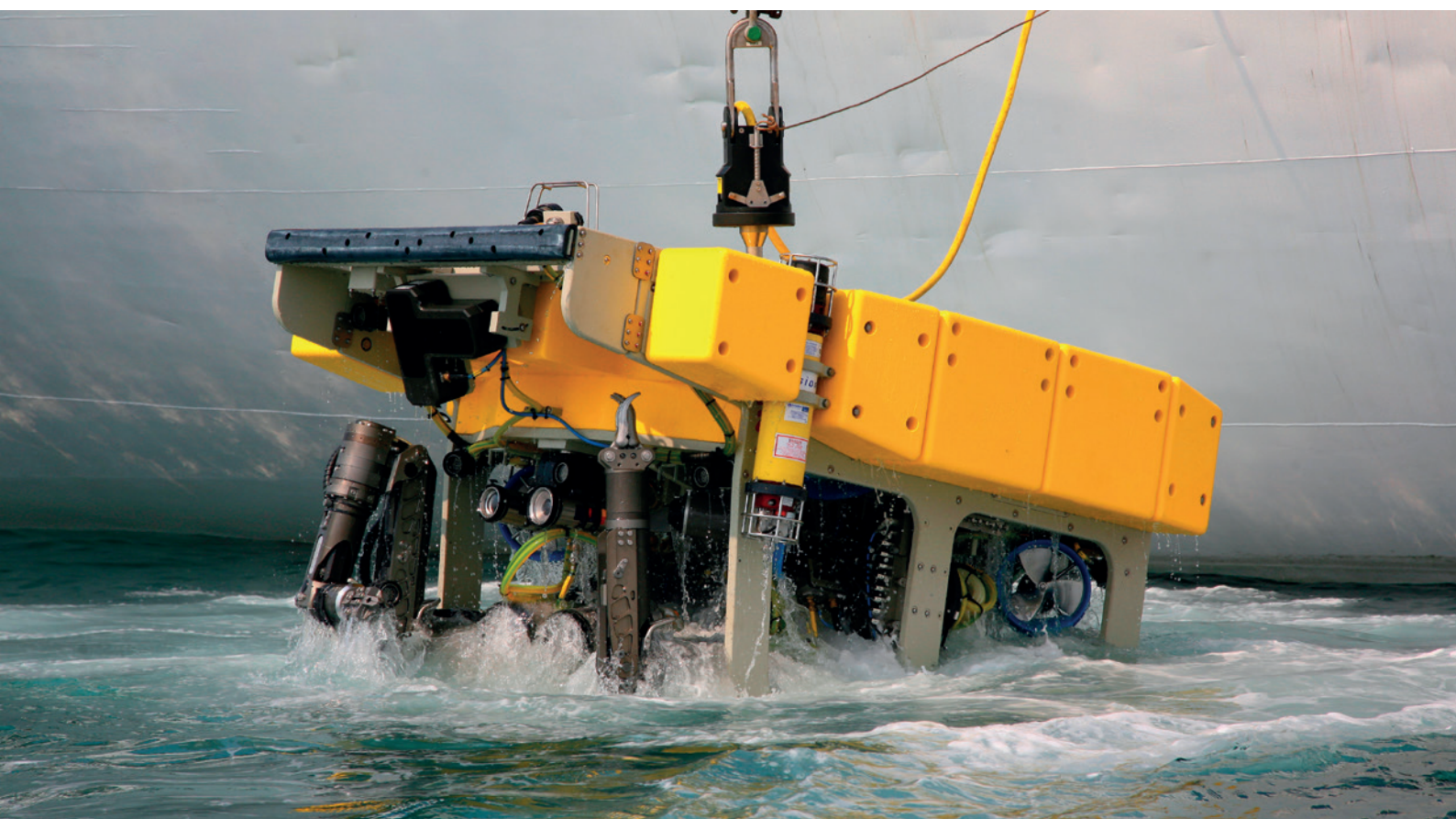
(solo pochi millimetri ogni milione di anni) in modo simile a una perla, crescendo attorno a un minuscolo nucleo, come un dente di squalo, un frammento di conchiglia o una particella di sedimento. Questi noduli, che si trovano in particolare nelle pianure abissali dell'Oceano Pacifico, come ad esempio nella Clarion-Clipperton Zone che si estende tra il Messico e le Hawaii. I noduli sono concentrati anche nel bacino del Perù, vicino alle Isole Cook, e nelle profondità abissali degli oceani Indiano e Atlantico, fra i 4.000 e i 6.500 metri di profondità. Il manganese e il ferro sono i metalli principali presenti nei noduli polimetallici. I metalli di maggiore interesse economico, tuttavia, sono il nichel, il rame, il cobalto e, possibilmente, il manganese, se questo può essere estratto e lavorato in modo commercialmente redditizio. Inoltre, vi sono tracce di altri metalli preziosi, come il molibdeno, gli elementi delle terre rare (Rare Earth Elements - REE) e il litio, che hanno importanza industriale in molte applicazioni high-tech e green-tech e che potrebbero essere recuperati come sottoprodotti una volta sviluppate tecniche di estrazione e lavorazione adeguate.

I solfuri polimetallici sono minerali che contengono diversi metalli legati allo zolfo che si trovano nelle aree dove sono presenti camini idrotermali. In questi ambienti, l'acqua ricca di minerali caldi fuoriesce dal fondale oceanico in corrispondenza dei margini delle placche tettoniche, depositando metalli preziosi

come rame, zinco, oro e argento.

Le croste ferromanganesifere che si sviluppano lungo i fianchi dei monti sottomarini sono strati di minerali che ricoprono la roccia, con uno spessore che può variare da pochi millimetri a diversi decimetri. Si formano a profondità marine comprese tra i 600 e i 7 000 m sui fianchi di montagne sottomarine vulcaniche, creste e altipiani. Anche in questo caso, la crescita avviene in tempi geologici. Questi depositi sono particolarmente ricchi di cobalto, nichel, manganese e terre rare. Molte montagne sottomarine si trovano all'interno delle zone economiche esclusive (ZEE) degli Stati insulari del Pacifico. L'Oceano Atlantico ha meno montagne sottomarine. Le croste polimetalliche ricche di cobalto sono spesso associate all'attività idrotermale nei centri di espansione del fondale marino, con l'eccezione delle aree marginali continentali nord-orientali e nord-occidentali. Il cobalto è uno dei metalli in traccia di maggiore interesse economico e presenta comunemente valori superiori allo 0,5% in peso. Un altro metallo di grande interesse è il tellurio (Te), che ha una media globale di circa 50 ppm (parti per milione) nelle croste, con un valore massimo riscontrato di 205 ppm.

Questi elementi sono fondamentali per la realizzazione di tecnologie chiave nella doppia transizione digitale e verde. Il rame, per esempio, è un eccellente conduttore elettrico utilizzato nei cavi, nei motori e



nelle infrastrutture energetiche come le turbine eoliche, i pannelli solari e le reti intelligenti. Il manganese, abbondante nei noduli marini, è essenziale per la produzione di acciaio ad alta resistenza utilizzato nelle infrastrutture energetiche rinnovabili e in alcune batterie al litio. Il nickel è altrettanto importante: la sua capacità di aumentare la densità energetica lo rende un componente cruciale nelle batterie per veicoli elettrici, contribuendo all'autonomia e all'efficienza dei motori elettrici. Nel campo delle batterie ricaricabili,

in particolare quelle agli ioni di litio, il cobalto è impiegato per stabilizzare la struttura cristallina del catodo, migliorando la durata della batteria, aumentando la densità energetica e riducendo i rischi di surriscaldamento e incendio. Il cobalto viene anche utilizzato in leghe metalliche ad alta resistenza per applicazioni ad alte temperature e ambienti estremi, come ad esempio nell'industria aerospaziale, dove vengono impiegate nelle turbine dei motori a reazione, e nel settore energetico, in particolare nelle turbine a gas.

7.2 La questione ambientale

L'attività estrattiva sui fondali marini comporta rischi ambientali rilevanti. Innanzitutto, l'azione meccanica di draghe e sistemi di aspirazione può distruggere il fondale.

A ciò si aggiunge l'inquinamento causato dalle acque reflue minerarie calde e l'inquinamento acustico, che può disturbare gravemente la fauna marina, in particolare le specie che dipendono dai segnali sonori per orientarsi, comunicare o cacciare. Anche le fasi di esplorazione e trasporto dei materiali non sono prive di impatti: possono generare dispersioni di sedimenti, emissioni nocive e sversamenti accidentali di idrocarburi, con conseguenze potenzialmente gravi per l'ecosistema marino.

Le profondità marine costituiscono uno degli habitat più vasti e meno conosciuti del pianeta. Decine di migliaia di specie sono già state individuate negli abissi oceanici, e alcuni esperti stimano che potrebbero esserne milioni di altre ancora sconosciute. Anche per questo motivo, studi sull'attività mineraria in acque profonde dimostrano che la comprensione del funzionamento degli ecosistemi abissali e della loro capacità di rigenerazione è ancora molto limitata. Quel che è noto è che, più si scende in profondità,

più potenzialmente gravi sono gli impatti ambientali. Negli abissi, le basse temperature e l'alta pressione rallentano i processi biologici: alcuni organismi possono impiegare decenni per raggiungere la maturità. Questo contribuisce a rendere la vita nei fondali profondi estremamente fragile e a ridurre drasticamente la capacità di recupero in seguito a perturbazioni ambientali. Secondo Jones *et al.* (2025), gli esperimenti minerari condotti negli anni Settanta nella Clarion-Clipperton Zone hanno lasciato tracce ancora visibili e, dopo decenni, la biodiversità originaria non si è ancora ristabilita.

Infine, l'oceano è considerato il più grande pozzo di carbonio del pianeta, capace di assorbire circa il 25 per cento di tutte le emissioni antropiche di anidride carbonica (IPCC, 2022). In questo processo, gli organismi microscopici presenti negli strati superficiali e profondi dell'oceano svolgono un ruolo fondamentale, contribuendo a sequestrare il carbonio negli abissi e a ridurre anche le emissioni di altri gas serra, come il metano, provenienti dai sedimenti dei fondali marini.

L'attività mineraria nei fondali oceanici potrebbe compromettere questi meccanismi naturali: alterando gli habitat profondi e disturbando i cicli biogeochimici, vi è il rischio non solo di arrecare danni irreversibili alla biodiversità, ma anche di ridurre la capacità dell'oceano di agire come regolatore climatico globale.

7.3 Le regole sull'esplorazione e lo sfruttamento

L'attuale quadro normativo prevede regole in materia di esplorazione e sfruttamento minerario nei fondali marini, a seconda che le attività avvengano in acque nazionali (cioè all'interno della giurisdizione di uno Stato) oppure in acque internazionali.

Gli Stati hanno giurisdizione sulle risorse minerarie presenti nei fondali marini all'interno della Zona Economica Esclusiva (ZEE), ovvero fino a 200 miglia nautiche. Questo limite, secondo la Convenzione ONU sul diritto del mare del 1982 (United Nations Convention on the Law of the Sea - UNCLOS) può essere esteso se il margine continentale (cioè la naturale estensione geologica della massa terrestre) lo consente⁵⁸.

Secondo l'UNCLOS, all'interno delle rispettive ZEE, gli Stati esercitano diritti sovrani per l'esplorazione e lo sfruttamento delle risorse naturali, comprese quelle minerarie. Ogni Stato può quindi disciplinare autonomamente queste attività ma, sempre secondo l'UNCLOS, lo Stato deve garantire la tutela dell'ambiente marino conservando e gestendo le risorse naturali⁵⁹. Tali diritti consentono ai governi di concedere licenze alle imprese per attività di esplorazione e estrazione, di stabilire requisiti ambientali e di raccogliere entrate o royalties derivanti dallo sfruttamento delle risorse⁶⁰.

Dato che i fondali marini in acque internazionali sono considerati patrimonio comune dell'umanità, l'obiettivo di ISA è organizzare e controllare le attività di

esplorazione e sfruttamento minerario, garantendo una distribuzione equa dei benefici e proteggendo al contempo l'ambiente marino. Ogni attività di esplorazione o sfruttamento deve quindi essere autorizzata da ISA.

Dal 2014 ISA ha avviato i lavori per elaborare il quadro normativo per lo sfruttamento delle risorse minerarie nell'Area, il cosiddetto 'Mining Code'. In questi anni è stata elaborata una bozza di regolamentazione per coprire temi quali allocazione delle royalties e sanzioni per mancato rispetto dei vincoli ambientali, ma manca ancora il sostegno di un numero significativo di Paesi. Diversi Paesi – tra cui Francia, Germania, Spagna, Nuova Zelanda, Cile e Costa Rica – sono formalmente contrari allo sfruttamento delle risorse nei fondali marini oppure stanno attivamente chiedendo una moratoria o un rinvio in attesa di un diverso quadro normativo.

A settembre 2026, l'ISA ha firmato 32 contratti quindicennali con 22 soggetti contraenti (Stati o aziende sponsorizzate da Stati) per le attività di esplorazione nei fondali marini oltre i limiti della giurisdizione nazionale⁶¹. La maggior parte di questi progetti di esplorazione riguarda i noduli polimetallici negli oceani Pacifico, Atlantico e Indiano. Non sono stati firmati contratti per lo sfruttamento in quanto le regole sono ancora in fase di negoziazione per bilanciare l'obiettivo di trovare nuove fonti minerarie con l'obiettivo di garantire adeguate salvaguardie ambientali e una sufficiente comprensione scientifica dell'ecosistema degli abissi.

Questo principio è stato ribadito nella dichiarazione approvata dalla Conferenza delle Nazioni Unite per gli Oceani tenutasi il 9-13 giugno 2025 a Nizza⁶² nella

58 Per rivendicare diritti oltre le 200 miglia nautiche uno Stato costiero deve presentare dati scientifici e tecnici alla Commissione sui Limiti della piattaforma Continentale (Commission on the Limits of the Continental Shelf - CLCS), un organo istituito da UNCLOS.

59 Secondo UNCLOS, gli Stati devono: Proteggere e preservare l'ambiente marino (Art. 192); Adottare misure per prevenire, ridurre e controllare l'inquinamento dell'ambiente marino da qualsiasi fonte, inclusa l'attività mineraria sui fondali (Art. 194, par. 1); Condurre una Valutazione d'Impatto Ambientale per tutte le attività che potrebbero causare un danno significativo all'ambiente marino (Art. 206).

60 UNCLOS stabilisce che le risorse minerarie dei fondali oceanici internazionali sono patrimonio comune dell'umanità (art. 136), e che nessuno Stato può esercitare sovranità o autorizzazioni unilaterali (art. 137).

61 <https://www.isa.org/im/exploration-contracts>

62 <https://sdgs.un.org/conferences/ocean2025>

quale emerge (punto 18) *“la necessità di accrescere le conoscenze scientifiche sugli ecosistemi di acque profonde” e “l’importanza dell’elaborazione e della standardizzazione in corso da parte dell’Autorità [ndr ISA] (...) di norme, regolamenti e procedure per garantire l’efficace protezione dell’ambiente marino, tra l’altro per la protezione e la conservazione delle risorse naturali dell’Area e per la prevenzione di danni alla flora e alla fauna dell’ambiente marino derivanti da effetti nocivi che potrebbero derivare dalle attività nell’Area.”*

Molti Paesi stanno portando avanti progetti in materia di esplorazione come Norvegia, Giappone, Stati Uniti, India, Messico e Nuova Zelanda. Pochi sono i Paesi impegnati in attività di sfruttamento. La Namibia estrae diamanti (quindi non i minerali sopra indicati) in acque basse. Il Giappone ha effettuato il primo test tecnico al mondo di estrazione mineraria profonda, ma non è ancora passato a uno sfruttamento industriale per costi elevati e incertezza del quadro giuridico e degli effetti ambientali. In particolare, il Giappone ha istituito, nel 2009, la Round Table per la promozione dell’industria mineraria oceanica, quando il governo giapponese ha formulato il suo Piano per lo sviluppo delle risorse energetiche e minerarie marine. La Round Table riunisce i leader del settore delle tecnologie avanzate, che collaborano strettamente con il mondo accademico e gli istituti di ricerca per condurre studi interdisciplinari basati su una vasta gamma di prospettive, con l’obiettivo anche di fornire in modo stabile i metalli strategici per la sicurezza economica ed industriale del Giappone. Fra i progetti più ambiziosi vi è quello di estrarre noduli di manganese dai fondali dell’isola Minami-Tori-Shima, situata a 1.800 km ad est di Tokyo e in ZEE del Giappone. La ricerca è finanziata dal National Platform for Innovative Ocean Developments e avviene a 5.700 metri di profondità. Il progetto prevede un primo test operativo, particolarmente ambizioso per le difficoltà tecniche dovute a pressione, correnti e temperatura dell’acqua, nell’estate del 2026, quando è previsto di poter sollevare circa 35 tonnellate di sedimenti in tre

settimane, preludio di una potenziale produzione industriale che a regime potrebbe portare ad estrarre sino a 350 tonnellate al giorno di sedimenti a partire dalla fine del 2027. Le prime stime indicano la possibilità di estrarre 2kg di REE ogni tonnellata di sedimento⁶³.

La Papua Nuova Guinea prevedeva di estrarre solfuri polimetallici, ma il progetto⁶⁴ è stato interrotto a causa di problemi finanziari e di opposizione da parte della comunità locale e di gruppi ambientalisti.

Nell’agosto 2026 la Namibia ha compiuto un importante passo verso l’avvio dell’estrazione di fosfati dai fondali marini, rilasciando un’autorizzazione ambientale al Sandpiper Marine Phosphate Project⁶⁵. Il progetto è situato nella ZEE della Namibia. Tuttavia, l’iniziativa è controversa per i possibili effetti del dragaggio dei fondali e dei conseguenti pennacchi di sedimenti sull’ecosistema marino della corrente del Benguela, particolarmente ricco di risorse ittiche e di grande importanza per il settore della pesca namibiano.

Il 24 aprile 2025, il presidente statunitense Donald J. Trump ha firmato un Executive Order⁶⁶ con il quale ha incaricato le agenzie federali di accelerare lo sviluppo delle risorse minerarie dei fondali marini, sia nelle aree sottoposte alla giurisdizione statunitense sia nei fondali oltre i limiti della giurisdizione nazionale. In attuazione dell’ordine, la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ha modificato la disciplina applicabile per rendere più rapido e coordinato l’esame delle domande di licenza di esplorazione e dei permessi di recupero commerciale.

Particolarmente significativa è l’iniziativa di The Metals Company USA (TMC USA), che riguarda fondali oltre la giurisdizione nazionale. Nell’agosto 2026 la NOAA ha pubblicato una domanda consolidata della società relativa sia a una licenza di esplorazione sia a un permesso di recupero commerciale di noduli polimetallici nella Clarion-Clipperton Zone, nell’Oceano Pacifico⁶⁷. Parallelamente, gli Stati Uniti stanno portando avanti

63 Reuters, Japan to begin test mining rare-earth mud from seabed in early 2026, 4 Luglio 2025.

64 Progetto Solwara 1 gestito dalla società canadese Nautilus Minerals.

65 <https://oceanographicmagazine.com/news/namibia-greenlights-controversial-deep-sea-phosphate-mine-project>

66 <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/04/unleashing-americas-offshore-critical-minerals-and-resources>

67 La procedura è tuttora in corso e non equivale al rilascio di un’autorizzazione allo sfruttamento commerciale.

iniziative minerarie nelle aree sottoposte alla propria giurisdizione. Nel giugno 2025 il Department of the Interior, attraverso il Bureau of Ocean Energy Management (BOEM), ha avviato una procedura per valutare possibili concessioni minerarie offshore presso American Samoa. Dopo la consultazione pubblica conclusasi il 15 agosto 2025, il procedimento è proseguito con l'identificazione dell'area e le relative valutazioni ambientali. Non sono ancora state assegnate concessioni, ma il procedimento è passato dalla fase preliminare di raccolta delle manifestazioni di interesse alla preparazione di una possibile gara.

Le due iniziative hanno una rilevanza giuridica profondamente diversa. Le attività presso American Samoa interessano fondali sottoposti alla giurisdizione statunitense e possono pertanto essere autorizzate dagli Stati Uniti sulla base della propria legislazione nazionale, senza necessità di un'autorizzazione dell'International Seabed Authority (ISA). Diversa è la situazione delle domande di TMC USA relative alla Clarion-Clipperton Zone, che riguardano fondali oltre i limiti della giurisdizione nazionale; secondo il sistema istituito da UNCLOS, l'esplorazione e lo sfruttamento delle risorse minerarie dell'Area rientrano nel regime internazionale amministrato dall'ISA. Gli Stati Uniti non hanno ratifica-

to UNCLOS e non sono membri dell'ISA e intendono autorizzare le proprie imprese ad operare in tali aree sulla base della legislazione nazionale.

La Cina attualmente sta realizzando attività di esplorazione approvate da ISA. Ad esempio, la China Ocean Mineral Resources Research and Development Association (COMRA), sponsorizzata dal governo cinese, dispone di contratti per l'esplorazione di noduli polimetallici nella Clarion-Clipperton Zone, nonché di solfuri polimetallici e croste ferromanganesifere ricche di cobalto in altre aree dei fondali internazionali.

La decisione degli Stati Uniti di prevedere un percorso autorizzativo nazionale anche per attività minerarie nei fondali oltre la giurisdizione nazionale, come nel caso della Clarion-Clipperton Zone, potrebbe indebolire il sistema multilaterale facente capo all'ISA e creare un precedente per iniziative unilaterali da parte di altri Paesi. Ciò potrebbe alimentare una competizione internazionale per l'accesso alle risorse minerarie dei fondali profondi – una sorta di “corsa all'oro” – prima della definizione di un quadro regolatorio internazionale condiviso, con potenziali conseguenze per ecosistemi marini profondi particolarmente fragili e ancora poco conosciuti⁶⁸.

7.4 La posizione dell'UE

In materia di attività mineraria sui fondali marini, l'Unione Europea (UE) riconosce sia i potenziali benefici sia i rilevanti rischi ambientali.

Per questo l'UE adotta una posizione prudente coerente con il principio di precauzione⁶⁹ promuovendo

innanzitutto la ricerca per valutare gli impatti ambientali di eventuali attività di sfruttamento e per sviluppare tecnologie sostenibili. Questa posizione è esplicitata nella Comunicazione del 2022 “Definire la rotta verso un pianeta blu sostenibile. Comunicazione congiunta sull'agenda UE per la governance internazionale degli oceani”⁷⁰.

Sui benefici relativi allo sfruttamento delle risorse minerarie dei fondali marini si esprime il regolamento noto

68 <https://www.ft.com/content/b0fb5751-f894-4ff7-8585-c362d8ec9d4f>

69 L'art. 191 par. 2 del Trattato sul Funzionamento specifica che la politica dell'UE in materia ambientale “è fondata sui principi della precauzione e dell'azione preventiva, sul principio della correzione, in via prioritaria alla fonte, dei danni causati all'ambiente, nonché sul principio «chi inquina paga»”.

70 Joint (2022)28 final del 24.06.2022.

come Critical Raw Materials Act (CRMA)⁷¹, per il quale, entro il 2030, l'UE deve essere in grado di estrarre da fonti interne almeno il 10 per cento del proprio consumo annuale di materie prime strategiche. Tuttavia, in virtù del principio di precauzione, la Commissione non dovrebbe riconoscere progetti di estrazione mineraria nei fondali marini profondi come progetti strategici del CRMA (considerando 18) *“prima che gli effetti dell'estrazione mineraria nei fondali marini profondi sull'ambiente marino, sulla biodiversità e sulle attività umane siano stati sufficientemente studiati, i rischi siano stati compresi e le tecnologie e le pratiche operative siano in grado di dimostrare che l'ambiente non subisce gravi danni”*.

Più recentemente, la Commissione Europea (2025) nell'ambito de “Il patto europeo per gli oceani”⁷² ha dichiarato che continua a sostenere la sua posizione precauzionale in materia di attività mineraria in mare profondo, sottolineando la necessità di incrementare la ricerca sui potenziali effetti socioeconomici, ambientali e in materia di biodiversità. Fino a quando non saranno disponibili prove scientifiche sufficienti a confermare che l'attività mineraria in mare profondo non costituisce una minaccia per gli ecosistemi marini, la Commissione chiede una pausa precauzionale e sosterrà l'adozione di un approccio basato su regole presso l'ISA.

7.5 Il Mar Mediterraneo

Nel Mar Mediterraneo, le dimensioni limitate del bacino e la vicinanza tra le coste dei vari Paesi fanno sì che tutti i fondali ricadano sotto la giurisdizione degli Stati; non ci sono, quindi, acque internazionali soggette alla competenza dell'ISA. Qualunque attività di sfruttamento dei fondali marini nel Mediterraneo dovrebbe essere autorizzata dallo Stato competente.

Nel Mar Mediterraneo esistono potenziali geologici limitati per quanto riguarda i solfuri polimetallici e le croste ferromanganesifere soprattutto nel Mar Tirreno meridionale che presenta strutture geologiche vulcaniche attive, tra cui il Monte Marsili (il vulcano

sommerso più grande d'Europa) e i rilievi vulcanici di Palinuro e Vavilov e l'area egea tra Grecia e Turchia caratterizzata da intensa attività tettonica e vulcanica, con numerosi campi idrotermali.

Non sono invece presenti noduli polimetallici di interesse economico, soprattutto perché la loro formazione richiede condizioni sedimentarie e geochemiche tipiche delle pianure abissali degli oceani aperti, condizioni che non si riscontrano nel Mediterraneo, un mare semichiuso e geologicamente giovane.

Tuttavia, tanto i depositi di solfuri polimetallici quanto le croste ferromanganesifere sono ancora poco esplorati probabilmente per il loro limitato potenziale quantitativo e qualitativo (rispetto ai grandi distretti oceanici) e per la complessità geologica che rende le operazioni minerarie tecnicamente e ambientalmente sfidanti. Inoltre, il Mar Mediterraneo è un mare ecologicamente sensibile, già sottoposto a forti pressioni antropiche, e soggetto a specifici accordi regionali di tutela ambientale, come la Convenzione di Barcellona⁷³.

71 Regolamento (UE) 2024/1252 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 aprile 2024 che istituisce un quadro atto a garantire un approvvigionamento sicuro e sostenibile di materie prime critiche e che modifica i regolamenti (UE) n. 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 e (UE) 2019/1020.

72 Comunicazione della Commissione (2025) 281 final del 5 giugno 2025.

73 La Convenzione di Barcellona, formalmente nota come “Convenzione per la protezione dell'ambiente marino e della regione costiera del Mediterraneo”, è un accordo regionale firmato nel 1976 e modificato nel 1995 con l'obiettivo di tutelare l'ecosistema mediterraneo dagli impatti dell'inquinamento e dello sfruttamento eccessivo delle risorse naturali. È stata sottoscritta da tutti i Paesi che si affacciano sul Mediterraneo insieme all'UE.

7.6 Le opportunità per il sistema Italia

In un quadro normativo europeo restrittivo rispetto al sea mining e sebbene l'Italia difficilmente diventerà un produttore di minerali marini per un fondale poco ricco, le aziende e le Istituzioni del Paese possono comunque svolgere un ruolo di supporto nella catena del valore dell'estrazione in acque profonde.

L'Italia vanta una tradizione consolidata e riconosciuta a livello internazionale nel settore della cantieristica navale, dell'ingegneria *offshore* e dell'architettura navale, con aziende come Fincantieri, Saipem⁷⁴ e Leonardo. Fincantieri è attiva nella costruzione di navi per il supporto offshore e la ricerca scientifica potenzialmente adattabili alle operazioni di estrazione mineraria in acque profonde. Saipem, attiva principalmente nel settore oil & gas offshore, ha competenze trasferibili nella robotica subacquea, nei veicoli telecomandati e nelle infrastrutture sottomarine. Leonardo ha firmato nel 2023 un accordo con Fincantieri per collaborare su tecnologie sottomarine in ambiti quali la sorveglianza di infrastrutture critiche, la protezione di cavi e reti e attività estrattive sui fondali, incluse le

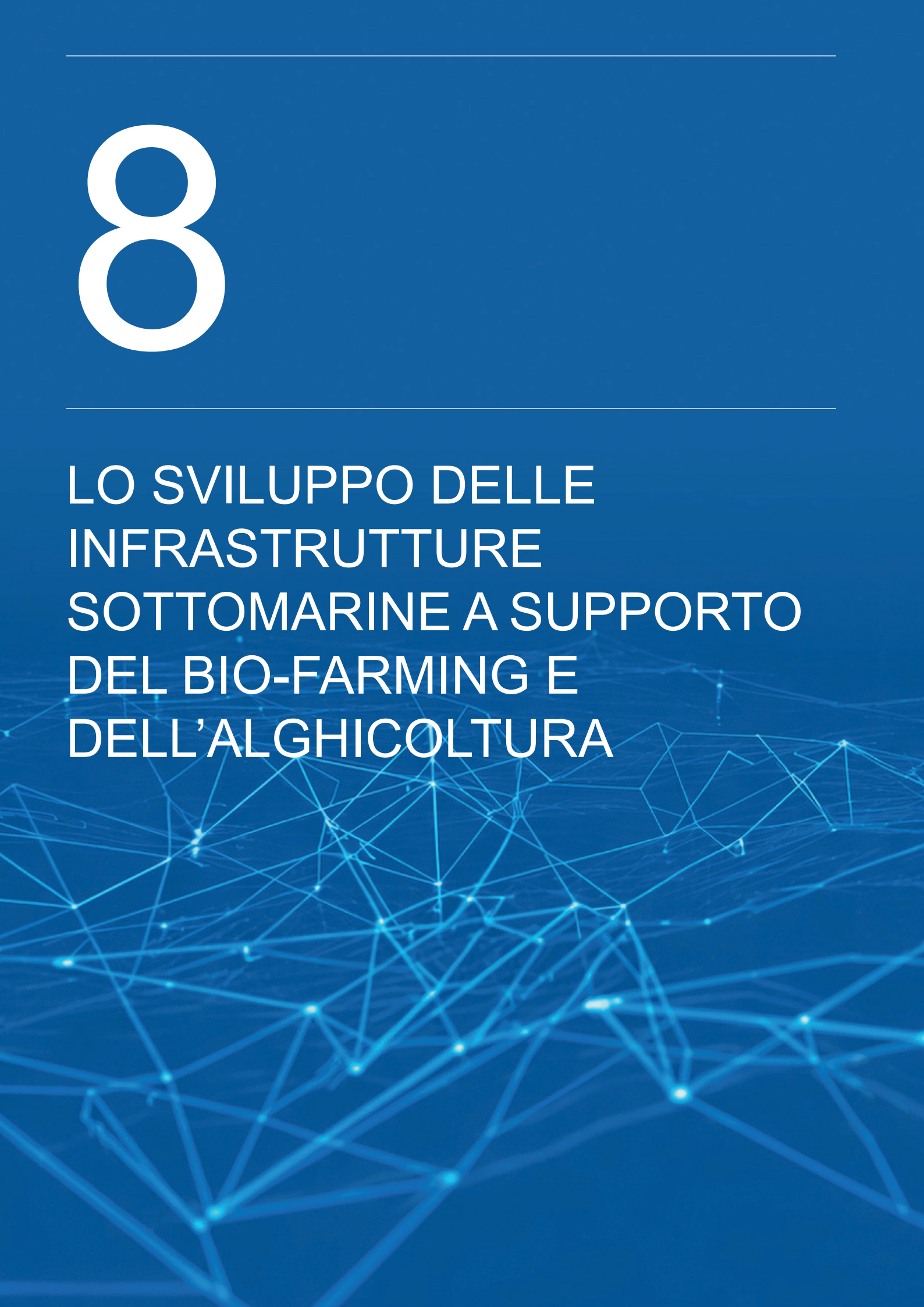
operazioni di seabed mining. Bedeschi, fondata nel 1908 e specializzata nella creazione di soluzioni chiavi in mano per la movimentazione di rinfuse e di materiali da costruzione ed estrazione, ha già lavorato nella produzione di sistemi di movimentazione dei carichi destinati alla miniera nel progetto Solwara 1 nelle acque della Papua Nuova Guinea. NAIS (Nextant Applications & Innovative Solutions) è attiva in progetti europei e con European Space Agency (ESA) e Agenzia Spaziale Italiana (ASI), sviluppa soluzioni basate su Earth Observation, GNSS e Digital Twin, strumenti preziosi per mappare i fondali, monitorare le infrastrutture offshore e analizzare in tempo reale le condizioni ambientali.

Infine, diversi enti di ricerca offrono un contributo importante alle conoscenze necessarie per il deepsea mining. Il CNR-ISMAR (Istituto di scienze marine) fornisce competenze nella mappatura batimetrica e nello studio geologico e geochimico dei fondali, utili per identificare e descrivere i depositi minerari. L'Istituto nazionale di oceanografia e di geofisica sperimentale (OGS) di Trieste è specializzato in geofisica marina e modellistica, con tecnologie acustiche avanzate per analizzare le risorse in profondità e valutare i rischi geotecnici. La Stazione Zoologica Anton Dohrn a Napoli si concentra invece sulla biodiversità e sugli ecosistemi marini profondi, fondamentali per misurare l'impatto ecologico delle attività estrattive.

74 Nel Bilancio pubblicato ad Aprile 2024 Saipem evidenzia che, pur operando da sempre nel settore offshore, sviluppando know-how e tecnologie con particolare attenzione alla protezione dell'ambiente sottomarino; nelle sue attività adotta un approccio responsabile e sostenibile, supportato dal costante monitoraggio degli sviluppi tecnologici. Con riferimento al Deep Sea Mining, anche a seguito di indagini tecniche, attualmente Saipem ha deciso di non svolgere attività relative a questo specifico settore, pur monitorandone gli sviluppi tecnici e normativi. Per chiarezza, si precisa inoltre che eventuali Memorandum of Understanding siglati con altre società terze sono scaduti senza che siano state svolte attività operative.

8

LO SVILUPPO DELLE
INFRASTRUTTURE
SOTTOMARINE A SUPPORTO
DEL BIO-FARMING E
DELL'ALGHICOLTURA



Il cambiamento climatico, la scarsità di acqua dolce e la crescente pressione sulla disponibilità dei terreni coltivabili stanno favorendo la ricerca di sistemi produttivi capaci di utilizzare risorse e spazi alternativi.

In questo contesto, il mare non è più considerato soltanto una fonte di risorse naturali, ma anche un ambiente nel quale sperimentare nuove forme di produ-

zione biologica. Tra le soluzioni emergenti rientrano il bio-farming sottomarino e l'alghicoltura: due attività differenti, accomunate dalla possibilità di produrre biomassa limitando il consumo di suolo e, in determinate applicazioni, di acqua dolce.

Il bio-farming sottomarino consiste nella coltivazione di piante terrestri all'interno di serre o biosfere collocate sotto la superficie dell'acqua. L'alghicoltura è invece il settore dell'acquacoltura dedicato alla coltivazione controllata di macroalghe e microalghe, praticata in mare, nelle acque interne oppure in impianti a terra.

8.1 Il bio-farming sottomarino

In un contesto di continua evoluzione delle tecniche di valorizzazione delle opportunità offerte dagli oceani per la filiera agroalimentare, a livello italiano le innovazioni più interessanti derivano dallo sviluppo di iniziative su un tema di frontiera dell'acquacoltura, che ha particolari riflessi in termini infrastrutturali, quale il bio-farming sottomarino.

Con il termine bio-farming si indica un modello di agricoltura che prevede pratiche biologiche e sostenibili come ad esempio la riduzione dell'uso di sostanze

chimiche di sintesi privilegiando l'efficienza nell'uso delle risorse naturali e promuovendo la tutela della biodiversità. Il bio-farming sottomarino si configura come una forma innovativa di coltivazione realizzata all'interno di sfere trasparenti ancorate al fondale marino. Il suo funzionamento si articola in una serie di processi integrati che consentono di riprodurre, in ambiente subacqueo, condizioni ottimali per la crescita vegetale.

Si tratta di una serie di biosfere ancorate sul fondo del mare e riempite con migliaia di litri di aria, dove vengono coltivate in atmosfera controllata colture agricole. Grazie alla temperatura del mare pressoché costante, le colture si avvantaggiano di un microclima stabile che, oltre a proteggere le piante da aggressioni di insetti e micro-organismi, consente una più veloce ed efficace crescita e maturazione.

8.2 Come funzionano le biosfere

Le sfere utilizzate nel bio-farming sottomarino sono strutture emisferiche o sferiche, concepite per resistere sia alla pressione esercitata dalla colonna d'acqua sia alle sollecitazioni meccaniche derivanti da correnti e mareggiate. La trasparenza del materiale, in genere un polimero acrilico o similari ad alta resistenza, è fondamentale per permettere il passaggio della luce solare necessaria alla fotosintesi.

Queste biosfere sono solitamente aperte nella parte inferiore per facilitare l'accesso degli operatori e per permettere all'acqua che lambisce la parte bassa della biosfera di contribuire a mantenere costante la

temperatura interna⁷⁵.

Quando le biosfere vengono calate in mare, l'aria rimane 'intrappolata' all'interno grazie alla pressione idrostatica⁷⁶. Le biosfere sono ancorate al fondale mediante strutture metalliche o cementizie per garantire stabilità anche in presenza di forti correnti.

All'interno viene ricreato un microclima caldo-umido che favorisce la crescita delle colture idroponiche. In questo tipo di colture, le piante non crescono nella terra, ma in substrati inerti come lana di roccia, argilla espansa che servono solo a sostenere le radici.

All'interno della biosfera, la differenza di temperatura tra l'acqua circostante e l'aria intrappolata produce un fenomeno di condensazione naturale: il vapore acqueo si deposita sulle superfici interne della sfera e ricade sotto forma di gocce, fornendo una riserva costante di acqua dolce per l'irrigazione. Questo meccanismo riduce drasticamente la dipendenza da risorse idriche esterne, rendendo il sistema quasi autosufficiente.

75 L'acqua marina ha un'elevata capacità termica e agisce da regolatore naturale, evitando sbalzi termici troppo rapidi.

76 La pressione dell'aria intrappolata bilancia quella esercitata dall'acqua circostante, impedendo così che la biosfera si riempia d'acqua.



L'acqua viene arricchita con sali minerali e nutrienti (azoto, fosforo, potassio, microelementi) e somministrata periodicamente alle radici. In questo modo la pianta riceve esattamente ciò di cui ha bisogno per crescere.

La trasparenza del materiale delle biosfere consente alla luce di penetrare e di sostenere la fotosintesi, senza bisogno generalmente di lampade artificiali. Per questo motivo, le biosfere vengono solitamente posizionate a bassa profondità, tra i cinque e i dieci metri sotto la superficie del mare. Inoltre, i subacquei possono raggiungere le biosfere facilmente rendendo più efficienti le attività di installazione e di manutenzione.

Per il loro funzionamento, le biosfere integrano sensori e sistemi di monitoraggio remoto. I parametri fondamentali, quali ossigeno, anidride carbonica, umidità, temperatura e salinità, vengono costantemente rilevati e trasmessi a stazioni di controllo in superficie.

Ciò consente di regolare a distanza le condizioni di crescita e di intervenire in caso di anomalie, riducendo al minimo la necessità di presenza umana in loco.

Infine, le biosfere possono essere considerate dei moduli da installare in modo progressivo, creando un vero e proprio "orto marino". Questo permette di diversificare e aumentare la resilienza delle colture. Ogni biosfera può ospitare piante diverse, adattate a microclimi leggermente differenti o destinate a usi specifici (alimentari, medicinali, aromatici) oppure diverse biosfere possono ospitare le stesse piante in modo tale che se una biosfera subisce danni o malfunzionamenti, le altre continuano a funzionare senza compromettere l'intero sistema.

In pratica, la biosfera è una serra sottomarina che usa l'acqua marina solo come ambiente di contenimento, mentre le piante crescono in idroponica, nutrite con soluzioni preparate *ad hoc*.

8.3 I vantaggi del bio-farming sottomarino

Il *bio-farming* sottomarino gode della stabilità termica dell'ambiente marino, il quale riduce le oscillazioni di temperatura tipiche della terraferma e garantisce condizioni di crescita più regolari.

All'interno delle biosfere si sviluppa un microclima caratterizzato da elevata umidità e assenza di parassiti e agenti patogeni comuni nelle colture terrestri, circostanza che consente di ridurre drasticamente o addirittura eliminare l'uso di pesticidi e fitofarmaci, con effetti positivi sia sulla sostenibilità ambientale sia sulla qualità dei prodotti agricoli.

Inoltre, grazie al naturale ciclo di evaporazione e condensazione, l'acqua marina si trasforma in acqua dolce riutilizzabile, rendendo il sistema quasi autosufficiente sotto il profilo idrico e particolarmente adatto

a contesti caratterizzati da scarsità di risorse idriche.

A tali vantaggi si aggiunge il risparmio di suolo agricolo. Lo sfruttamento dello spazio sottomarino libera superfici terrestri per altri usi, contribuendo a ridurre la pressione antropica su aree già compromesse da urbanizzazione o degrado. Questo aspetto risulta particolarmente significativo nei contesti caratterizzati da scarsità idrica, dove la possibilità di coltivare senza un massiccio ricorso a risorse terrestri e a riserve di acqua dolce offre un'opportunità per contrastare gli effetti della siccità.

Le biosfere non producono benefici esclusivamente di tipo agricolo, ma incidono anche sugli equilibri ecologici marini. Queste strutture sommerse, ancorate al fondale, fungono da punti di aggregazione per pesci e invertebrati diventando pertanto degli *hotspot* ecologici che contribuiscono alla resilienza degli ecosistemi marini.

8.4 Il caso italiano di Nemo's Garden

Il *farming* sottomarino con biosfere è un campo ancora sperimentale, con pochi casi concreti. Il caso più emblematico a livello internazionale è quello di Nemo's Garden⁷⁷ avviato nel 2012 dall'azienda Ocean Reef Group⁷⁸.

Il progetto consiste attualmente in nove biosfere trasparenti ancorate a una profondità di circa sei - dieci metri a 40 metri dalla spiaggia di Noli (Savona). All'interno delle biosfere viene coltivato soprattutto basilico (il simbolo del progetto, scelto per la tradizione ligure del pesto), ma anche lattuga, pomodori

ciliegini, fragole, erbe aromatiche (timo, origano, salvia, menta), aloe, stevia e fiori commestibili. Come evidenziato in precedenza, la tecnica di coltivazione è quella idroponica.

Dal punto di vista della qualità delle coltivazioni, uno studio realizzato dall'Università di Pisa (Pitelli et al., 2020) ha mostrato che gli esemplari di basilico provenienti dalle biosfere, rispetto alle piante cresciute in condizioni terrestri, presentano livelli più elevati di clorofilla, carotenoidi e polifenoli, parametri che indicano un miglioramento della capacità fotosintetica e della concentrazione di composti secondari benefici per la salute umana. In particolare, per il basilico coltivato nelle biosfere l'attività antiossidante è risultata superiore del trenta per cento, mentre il contenuto di

77 <https://www.nemosgarden.com>

78 <https://oceanreefgroup.com>

Figura 10: Le biosfere sottomarine di Nemo's Garden a Noli



polifenoli è aumentato di oltre il 13 per cento⁷⁹. Lo studio stesso ha inoltre evidenziato che il basilico coltivato nelle biosfere subacquee presenta una predominanza di metileugenolo, un composto aromatico che contribuisce a definire il bouquet della pianta suggerendo un potenziale arricchimento della qualità aromatica delle piante cresciute sott'acqua.

Secondo quanto dichiarato dall'azienda⁸⁰, nel 2025 il progetto ha ottenuto la certificazione GLOBALG.A.P., uno standard internazionale che attesta l'applicazione di buone pratiche agricole in ambiti quali sicurezza alimentare, tracciabilità della produzione, gestione degli input, tutela ambientale e sicurezza dei lavoratori. Nello stesso anno ha inoltre sperimentato la fornitura di micro-ortaggi coltivati nelle biosfere a un ristorante stellato Michelin.

Inoltre, l'allevamento subacqueo mostra un'interazione minima con l'ambiente marino se non per un effetto positivo. La presenza delle biosfere di Nemo's Garden sembra aver favorito un significativo incremento della biodiversità: la densità di molluschi risulta fino a sette volte superiore rispetto agli scogli vicini, mentre quella di pesci è pari a cinquantotto volte quella registrata nelle acque limitrofe (Carnevale, 2021; Cohan, 2023).

Le attività di Nemo's Garden a Noli si svolgono sulla base di una concessione demaniale marittima

rilasciata dal Comune, autorità competente per la gestione dello specchio acqueo interessato dal progetto. Inizialmente la concessione aveva carattere stagionale, limitandosi ai mesi estivi, ma in seguito è stata estesa su base annuale. Nemo's Garden rientra in una categoria ancora poco definita, quella delle concessioni di specchio d'acqua per attività di ricerca scientifica e sperimentazione.

Il progetto Nemo's Garden, avviato originariamente in Liguria, ha intrapreso negli ultimi anni un percorso di espansione internazionale negli Stati Uniti e nel Medio Oriente. Il progetto di Gilboa Quarry, in Ohio, costituisce la prima applicazione del modello in acqua dolce e in un bacino artificiale. In questo contesto, la biosfera è collocata a una profondità di circa due metri e mezzo e viene utilizzata per verificare la capacità delle piante di crescere in condizioni caratterizzate da temperature più rigide e da un ecosistema differente rispetto a quello marino.

Nemo's Garden ha annunciato sul suo website la realizzazione di due ulteriori installazioni nel Medio Oriente ma ad oggi non ci sono informazioni che consentano di valutarne i risultati. Nel complesso, l'espansione al di fuori della Liguria conferma la volontà di sperimentare la trasferibilità del modello a scala internazionale realizzando progetti in contesti ambientali eterogenei.

8.5 Le criticità del bio-farming sottomarino

Accanto alle potenzialità del bio-farming sottomarino, emergono tuttavia alcune criticità che pongono in discussione la sostenibilità complessiva del modello.

Sul piano economico, l'installazione e la manutenzione delle biosfere comportano costi elevati. L'investimento iniziale comprende non soltanto la progettazione e la costruzione delle strutture subacquee, ma anche le operazioni di trasporto, ancoraggio e messa in sicurezza sul fondale marino, che necessitano dell'impiego di mezzi e personale altamente specia-

79 I polifenoli sono una delle principali classi di composti che contribuiscono all'effetto antiossidante, ma non sono gli unici: l'attività antiossidante misura infatti la capacità complessiva della pianta di neutralizzare i radicali liberi e dipende anche da altre sostanze presenti, come vitamine e carotenoidi.

80 <https://www.nemosgarden.com/the-project>

lizzati. A tali oneri si aggiungono i costi ricorrenti di manutenzione, legati sia alla corrosione dei materiali in ambiente salino sia alla pulizia delle superfici esposte a biofouling⁸¹, fenomeno che compromette la funzionalità delle sfere.

Un ulteriore elemento di spesa riguarda il monitoraggio delle condizioni interne delle sfere, che richiede sensori, sistemi di controllo remoto e infrastrutture energetiche dedicate, spesso basate su fonti rinnovabili con costi ancora significativi. Anche la necessità di garantire la sicurezza operativa, attraverso la presenza di squadre subacquee e procedure di emergenza, contribuisce ad accrescere i costi complessivi.

Sul piano ecologico, sebbene il progetto Nemo's Garden abbia finora prodotto risultati positivi, l'introduzione di strutture artificiali sul fondale marino solleva interrogativi circa i potenziali effetti a lungo termine. In particolare, tali installazioni potrebbero modificare le idrodinamiche locali e incidere sui livelli di biodiversi-

tà, con possibili conseguenze sugli equilibri ecologici dell'area circostante.

Ulteriori elementi di incertezza derivano dall'assenza di un quadro normativo specifico volto a disciplinare l'impiego produttivo dello spazio marino, circostanza che genera difficoltà sia nella definizione dei diritti di sfruttamento sia nell'individuazione delle forme di tutela ambientale. In mancanza di una regolamentazione ad hoc sull'agricoltura sottomarina, le autorizzazioni vengono attualmente ricondotte alle disposizioni generali che regolano l'utilizzo del demanio marittimo, con conseguenti margini di ambiguità riguardo alle prerogative concessorie e agli obblighi connessi alla salvaguardia degli ecosistemi marini. A livello europeo, la Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino⁸² promuove un uso sostenibile delle risorse marine ma non affronta in modo specifico le pratiche di bio-farming subacqueo.

8.6 Le potenzialità dell'alghicoltura

L'alghicoltura è il settore dedicato alla coltivazione controllata di macroalghe e microalghe⁸³, praticata in ambiente marino, nelle acque interne oppure in impianti a terra.

La biomassa algale ottenuta rappresenta una risorsa particolarmente versatile, utilizzabile in numerose filiere: dall'alimentazione umana e animale alla produzione di farmaci e nutraceutici, cosmetici, fertilizzanti

e biostimolanti, fino alla realizzazione di biomateriali, imballaggi di origine biologica e biocarburanti.

Le potenzialità dell'alghicoltura derivano, innanzitutto, dalla possibilità di produrre biomassa senza occupare suolo agricolo e, nel caso di molte specie, senza ricorrere ad acqua dolce e con un fabbisogno di fertilizzanti inferiore rispetto a numerose colture terrestri. La coltivazione delle alghe può inoltre contribuire all'assorbimento di nutrienti e carbonio ed essere integrata con altre attività di acquacoltura, favorendo il recupero dei nutrienti presenti nell'ambiente e lo sviluppo di sistemi produttivi più circolari.

⁸¹ Il biofouling è il processo attraverso cui microrganismi, alghe, invertebrati e altri organismi marini si insediano e proliferano sulle superfici immerse in acqua, formando strati biologici più o meno spessi.

⁸² Direttiva 2008/56/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 17 giugno 2008, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino.

⁸³ La norma europea EN 17399:2020 definisce le alghe come un gruppo funzionale di organismi composto da microalghe, macroalghe, cianobatteri e Labyrinthulomycetes. Il termine alghe si riferisce anche a organismi acquatici di tipo vegetale, con dimensioni che vanno da organismi unicellulari (microalghe e cianobatteri) a forme multicellulari giganti come le alghe marine (macroalghe).

A questi vantaggi si aggiunge la capacità dell'alghicoltura di fornire diversi servizi ecosistemici, tra cui il miglioramento della qualità delle acque e, in determinate condizioni, il sostegno alla biodiversità, la protezione delle coste e il contributo alla mitigazione dei cambiamenti climatici (Bermejo et al., 2022).

Un ulteriore ambito di interesse riguarda il possibile contributo alla decarbonizzazione e alla gestione del carbonio. Attraverso la fotosintesi, infatti, macroalghe e microalghe utilizzano la CO₂ per produrre biomassa. Questo processo può essere sfruttato attraverso diversi approcci, tra cui la maricoltura di macroalghe come le kelp, la raccolta di biomassa algale presente naturalmente, come nel caso del Sargassum, e la coltivazione di microalghe in bacini chiusi o in mare aperto.

Il contributo effettivo alla rimozione duratura della CO₂ dall'atmosfera dipende tuttavia dal destino della biomassa prodotta. Una volta raccolte, le alghe possono essere trasformate in prodotti e materiali a lunga durata oppure, secondo approcci ancora oggetto di ricerca e valutazione, essere associate a sistemi di cattura e stoccaggio del carbonio. Tra le soluzioni studiate figurano il trasferimento della biomassa nelle profondità oceaniche, il suo stoccaggio e l'impiego della biomassa nell'ambito di sistemi di Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS⁸⁴). Queste soluzioni possono affiancarsi, nel più ampio quadro delle strategie di gestione del carbonio negli ecosistemi marini e costieri, agli approcci riconducibili al Blue Carbon⁸⁵.

Un approccio distinto, che non consiste propriamente nella coltivazione e raccolta delle alghe, è la cosiddetta fertilizzazione oceanica. Questa tecnica mira a stimolare la crescita del fitoplancton e delle micro-

alghe in mare aperto attraverso l'apporto di nutrienti limitanti, come il ferro, aumentando così l'assorbimento di CO₂ mediante fotosintesi e, potenzialmente, il trasferimento di una parte del carbonio verso le profondità oceaniche quando la biomassa affonda. Sono stati inoltre ipotizzati sistemi di risalita artificiale di acque profonde ricche di nutrienti, con l'obiettivo di incrementare la produttività biologica delle acque superficiali.

Dal punto di vista industriale, una delle prospettive più rilevanti è infine rappresentata dalle bioraffinerie algali, nelle quali la stessa biomassa può essere frazionata e trasformata in più prodotti a diverso valore aggiunto. Lo sviluppo su larga scala dell'alghicoltura dipenderà quindi dalla capacità di aumentare i volumi produttivi, ridurre i costi di coltivazione, raccolta e trasformazione e consolidare mercati sufficientemente ampi per i diversi prodotti derivati dalle alghe.

Un esempio significativo è rappresentato da GreenWave⁸⁶, organizzazione non profit statunitense, che promuove il paradigma della regenerative ocean farming o 3D ocean farming. Tale sistema utilizza strutture verticali sospese nella colonna d'acqua, destinate alla coltivazione di macroalghe e molluschi filtratori come ad esempio cozze, vongole e ostriche. Questi organismi si sviluppano sfruttando i nutrienti naturalmente presenti nell'ambiente marino, senza richiedere input esterni quali acqua dolce, fertilizzanti o pesticidi.

Un percorso differente è stato intrapreso da Sea6 Energy⁸⁷, *start-up* con sede a Bangalore che si focalizza sulla coltivazione industriale di alghe rosse tropicali, risorsa di grande rilevanza per l'industria alimentare e per lo sviluppo di prodotti innovativi. L'elemento distintivo del progetto è una piattaforma meccanizza-

84 L'acronimo BECCS sta per Bioenergy with Carbon Capture and Storage, cioè Bioenergia con Cattura e Stoccaggio del Carbonio. È una tecnologia "a emissioni negative", perché combina la produzione di energia da biomassa (che assorbe CO₂ durante la crescita) con la cattura e lo stoccaggio geologico della CO₂ emessa durante la conversione energetica. Ad esempio, la società Brilliant Planet, co-finanziata dal governo inglese nell'ambito del programma UK Research and Innovation, si propone di sfruttare il potenziale delle alghe come metodo economico per sequestrare in modo permanente e quantificabile il carbonio su scala delle gigaton, sfruttando bacini desertici (il progetto pilota è nel deserto del Sahara del Marocco), ma la reale convenienza socio-economica e ambientale dell'iniziativa è ancora da valutare in modo completo.

85 Con Blue Carbon si indica l'anidride carbonica (CO₂) assorbita dall'atmosfera attraverso la fotosintesi da parte di piante marine, macroalghe e fanerogame, nonché dagli ecosistemi costieri.

86 <https://www.greenwave.org>

87 <https://www.sea6energy.com>

ta – chiamata SeaCombine - capace di piantare e raccogliere alghe in mare aperto, superando la tradizionale dipendenza dal lavoro manuale e aprendo la strada a una produzione su vasta scala. Le ricadute applicative includono la realizzazione di biocarburanti e materiali biodegradabili, lo sviluppo di biostimolanti per l'agricoltura e di additivi per la zootecnia.

Sia GreenWave che Sea6 Energy rappresentano due modelli innovativi di agricoltura marina che contribuiscono in maniera significativa alle strategie di mitigazione climatica attraverso il duplice meccanismo del sequestro e della sostituzione del carbonio. Le macroalghe, attraverso la fotosintesi, assorbono anidride carbonica dall'ambiente marino, contribuendo a ridurre i livelli di acidificazione e a generare biomas-

sa che, se non raccolta o destinata al consumo, può sedimentare sui fondali, configurandosi come forma di Blue Carbon. Parallelamente, i prodotti derivati da tali coltivazioni – come bioplastiche, biofertilizzanti e biocarburanti – sostituiscono equivalenti di origine fossile, riducendo indirettamente le emissioni di gas serra. Anche i molluschi filtratori, pur non partecipando direttamente alla fotosintesi, offrono un contributo ai processi di decarbonizzazione attraverso la biomineralizzazione dei gusci calcarei, che comporta l'immagazzinamento di carbonato di calcio, e mediante il miglioramento della qualità delle acque, condizione che favorisce indirettamente la crescita e la produttività delle macroalghe.

8.7 L'alghicoltura nell'UE

L'industria delle alghe potrebbe assumere un ruolo strategico per l'Unione europea, contribuendo allo sviluppo di modelli produttivi più sostenibili, rigenerativi e innovativi e, al contempo, favorendo la crescita economica e la creazione di nuovi posti di lavoro, come riconosciuto in diversi documenti ufficiali⁸⁸ e in particolare attraverso il supporto allo sviluppo della coltivazione e della produzione di alghe rigenerative⁸⁹.

Sulla base dei dati FAO del 2024 la produzione di alghe in Europa è limitata a meno dell'1% del totale su scala mondiale, con il Sud Est asiatico quale mercato principale, e la stragrande maggioranza di questa produzione si basa sulle macroalghe, con una piccola percentuale inferiore all'1% proveniente dalle microalghe. Nell'UE, Francia, Irlanda e Spagna sono i primi tre paesi per fatturato, occupazione e numero di aziende che si occupano di macroalghe. I primi quattro Stati membri con il maggior numero di aziende che si occupano di microalghe sono Spagna, Germania, Francia e Italia. In ogni caso, nell'UE, i consumi di alghe e microalghe sono del tutto marginali rispetto ai consumi su scala mondiale, concentrati principalmente in Asia, essenzialmente limitati alla forma di integratori alimentari (es. Spirulina, Chlorella), alcuni piatti della tradizione asiatica nei ristoranti etnici ed eccezionali pietanze locali (es. 'Mauru' in Sardegna).

88 Comunicazione della Commissione Europea "Towards a Strong and Sustainable EU Algae Sector", pubblicata il 15 novembre 2022.

89 La rigenerazione è la capacità di un ecosistema (nello specifico, l'ambiente e gli esseri viventi che lo popolano) di rinnovarsi e di ricostituirsi a seguito di un danno subito. La rigenerazione si riferisce ad ecosistemi in grado di reintegrare ciò che viene mangiato, alterato o raccolto. Il maggior punto di forza risiede nella fotosintesi, e cioè la trasformazione dell'energia solare e dei nutrienti in biomassa vegetale. La coltivazione delle alghe marine può fornire beni e servizi ecosistemici preziosi, in particolare creando nuovi habitat per i pesci e le specie di invertebrati mobili (Theuerkauf SJ et al, 2021).

In Svezia, il progetto Ulva Farm⁹⁰, realizzato tra ottobre 2021 e dicembre 2023, ha sviluppato un protocollo per la coltivazione su larga scala di Ulva, un genere di macroalghe verdi commestibili comunemente note come “lattuga di mare”. Sempre in Svezia, l'iniziativa Koastal⁹¹, avviata nel 2022 e successivamente sperimentata attraverso un progetto operativo condotto tra settembre 2023 e la fine del 2025, ha creato una rete di aziende per la produzione di laminaria da zucchero (*Saccharina latissima*), una grande macroalga bruna coltivata soprattutto nelle acque fredde dell'Atlantico settentrionale. Nel 2025 è stato avviato Ocean Gardens⁹², che prevede a Gran Canaria una fattoria offshore modulare di 40.000 metri quadrati, progettata per produrre fino a 300 tonnellate annue di biomassa secca.

Nel 2025 è stata completata la prima raccolta sperimentale presso North Sea Farm 1, la prima fattoria di alghe al mondo operante su scala commerciale all'interno di un parco eolico offshore. L'impianto, sviluppato dall'associazione North Sea Farmers con il supporto di partner industriali europei e un contributo di 2 milioni di euro da parte dell'Amazon Right Now Climate Fund, occupa circa cinque ettari all'interno del parco eolico offshore Hollandse Kust Zuid, nei Paesi Bassi. Il progetto ha dimostrato la fattibilità tecnica e operativa della coltivazione di alghe negli spazi compresi tra le turbine eoliche, consentendo di condividere aree marine già concessionate e parte delle infrastrutture logistiche e operative esistenti. Oltre agli aspetti produttivi, il progetto è stato accompagnato da attività di ricerca finalizzate a valutare il contributo delle alghe all'assorbimento del carbonio, alla resilienza climatica e alla biodiversità marina. I risultati preliminari hanno rafforzato l'interesse verso modelli di co-locazione tra acquacoltura e impianti eolici offshore, considerati una delle applicazioni più promettenti dell'approccio europeo del multi-use of the sea.

L'iniziativa mira inoltre a verificare la sostenibilità economica della produzione offshore di alghe e a favorire lo sviluppo di catene del valore nei settori alimentare, cosmetico, tessile, dei biostimolanti e dei biomateriali. Secondo i promotori, la disponibilità degli spazi presenti nei parchi eolici del Mare del Nord potrebbe consentire, nel lungo periodo, un'espansione significativa della produzione europea di alghe, trasformando tali aree in veri e propri hub multifunzionali per la blue economy e la transizione energetica.

A livello italiano un'iniziativa prototipale è promossa dalla start-up Algae Scope Srl, finanziata anche dal progetto di ricerca europeo MARMADE (MARine bio-Mass valorizAtion for food and fEed ingredients) che ha preso avvio nel settembre del 2025, e da Faros, l'acceleratore di Cassa Depositi e Prestiti specializzato in Blue Economy nella laguna veneta. La principale tipologia di alga coltivata da Algae Scope è la cosiddetta “lattuga di mare”. Negli ultimi anni il modello di business di Algae Scope si è progressivamente evoluto verso la produzione di materiali bio-based derivati dalle macroalghe. In particolare, la società sta sviluppando alternative naturali ai composti fluorurati PFAS per applicazioni nei settori del tessile, dell'imballaggio alimentare, dell'edilizia e dell'elettronica, utilizzando estratti algali per realizzare rivestimenti idrorepellenti e ignifughi a basso impatto ambientale. Tale approccio si inserisce nelle strategie europee volte a promuovere una bioeconomia marina rigenerativa e a ridurre la dipendenza da prodotti di origine fossile. Parallelamente, proseguono le attività di ricerca e sperimentazione finalizzate alla valorizzazione delle macroalghe anche nei settori dei biocarburanti, dei biocoating e dei biomateriali, attraverso collaborazioni industriali che coinvolgono operatori attivi nelle filiere energetiche e della chimica verde, con particolare attenzione alle potenziali applicazioni nelle aree costiere e portuali del Mezzogiorno.

90 https://cinea.ec.europa.eu/featured-projects/ulva-farm-large-scale-sea-cultivation-green-seaweed_en

91 <https://www.koastal.se/kopie-van-jbv-project-report-q2-2025>

92 <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/projects-details/43392145/101241437>

8.8 Il Mar Mediterraneo

Il Mar Mediterraneo presenta condizioni favorevoli alla sperimentazione e allo sviluppo del bio-farming sottomarino e dell'alghicoltura, grazie alla combinazione di caratteristiche climatiche, ambientali e territoriali.

L'elevata disponibilità di luce solare durante l'anno e la buona trasparenza delle acque in numerose aree favoriscono la penetrazione della radiazione necessaria alla fotosintesi, elemento essenziale sia per la crescita delle alghe sia per le coltivazioni vegetali ospitate in strutture sommerse. Inoltre, la relativa stabilità della temperatura dell'acqua a determinate profondità può contribuire a creare condizioni più controllate rispetto a quelle terrestri, particolarmente interessanti per il bio-farming in biosfere sommerse.

Per l'alghicoltura, l'ampia estensione delle coste, la diversità degli ambienti marini e le temperature gene-

ralmente miti consentono di individuare aree adatte alla coltivazione di diverse specie. Particolarmente interessante è inoltre la possibilità di integrare la produzione di alghe con gli impianti di acquacoltura già presenti lungo le coste mediterranee, sfruttando parte dei nutrienti disponibili e favorendo sistemi produttivi più circolari.

Queste attività assumono particolare rilevanza nel Mediterraneo anche per le caratteristiche dei territori che lo circondano, molti dei quali sono sottoposti a crescente stress idrico, siccità e pressione sul suolo agricolo. La possibilità di trasferire parte della produzione di biomassa e, in prospettiva, alcune coltivazioni in ambiente marino permette di ridurre la competizione per il suolo e, soprattutto nel caso dell'alghicoltura marina, di evitare il consumo di acqua dolce. La presenza di numerose comunità costiere, porti, attività di acquacoltura e infrastrutture marittime costituisce infine una base favorevole per la sperimentazione e il progressivo sviluppo di queste nuove attività della blue economy.

8.9 Le opportunità per il sistema Italia

Il *bio-farming* sottomarino rappresenta per l'economia e le imprese italiane un ambito di sviluppo strategico che coniuga innovazione tecnologica, sostenibilità ambientale e valorizzazione delle filiere produttive ad alto valore aggiunto. L'esperienza pionieristica di Nemo's Garden ha dimostrato la fattibilità tecnica e scientifica delle coltivazioni idroponiche in biosfere sommerse, evidenziando al contempo benefici ambientali quali l'incremento della biodiversità marina circostante e la possibilità di produrre piante aromatiche e ortaggi con profili organolettici e nutraceutici migliorati. Tali risultati delineano prospettive significative per l'agroalimentare italiano acquisendo

un ulteriore valore in termini di qualità e sostenibilità. Le opportunità si estendono anche ai settori della cosmetica, della nutraceutica e della farmaceutica, dove le piante coltivate sott'acqua si caratterizzano per un maggiore contenuto di composti bioattivi.

Lo sviluppo del *bio-farming* sottomarino offre ricadute positive sull'indotto tecnologico caratterizzato da imprese specializzate in robotica marina, sensoristica e materiali avanzati. Tra le realtà più dinamiche vi è WSense⁹³, azienda specializzata nell'*Internet of Underwater Things*, che sviluppa reti di sensori capaci di monitorare in tempo reale parametri ambientali e

93 <https://wsense.it>

condizioni marine. Anche Rigel⁹⁴, che rappresenta in Italia la linea di veicoli autonomi subacquei di Greensea IQ⁹⁵, fornisce soluzioni robotiche adatte al monitoraggio e alla manutenzione delle infrastrutture sottomarine. Inoltre, il Centro di Ricerca “E. Piaggio” dell’Università di Pisa⁹⁶, attivo nello sviluppo di robot autonomi per missioni subacquee. Accanto a questi attori emergono grandi gruppi come Leonardo⁹⁷, Eniprogetti⁹⁸ e Saipem⁹⁹, con lunga esperienza nel settore *offshore* e nelle infrastrutture sommerse, che potrebbero trasferire *know-how* e tecnologie alla realizzazione di serre sottomarine su scala industriale.

Anche nell'alghicoltura sono presenti competenze industriali italiane, soprattutto nel comparto delle microalghe. Tra le realtà più significative figura Archimede Ricerche, attiva nella produzione su scala industriale di diverse specie di microalghe e nella loro valorizzazione per applicazioni alimentari, mangimistiche, nutraceutiche e cosmetiche. A questa si affiancano Micoperi Blue Growth e Livegreen, impegnate nel-

la coltivazione e valorizzazione delle microalghe e dei loro derivati. Un ulteriore segmento della filiera è rappresentato dalle imprese tecnologiche, come Teregroup e BioSyntex, che sviluppano impianti e tecnologie per la coltivazione e la produzione di microalghe. Nel comparto delle macroalghe, ancora in fase emergente in Italia, si stanno inoltre sviluppando iniziative come Algaulisssse, impegnata nella costruzione di una filiera nazionale per la coltivazione sostenibile.

Il bio-farming sottomarino e l'alghicoltura potrebbero rientrare tra i progetti finanziabili o strategici nell'ambito del Piano Mattei per l'Africa. Il Decreto-Legge istitutivo del Piano¹⁰⁰, infatti, individua tra le aree di intervento la cooperazione allo sviluppo, l'agricoltura e la sicurezza alimentare, l'approvvigionamento e lo sfruttamento sostenibile delle risorse naturali, incluse quelle idriche, la tutela dell'ambiente e l'adattamento ai cambiamenti climatici, nonché la ricerca e l'innovazione.

94 <https://www.rigelhitech.com>

95 <https://greenseaiq.com>

96 <https://www.centropiaggio.unipi.it/research/underwater-robotics>

97 <https://www.leonardo.com>

98 <https://www.eni.com/it-IT/azienda/societa-controllate-partecipate/eniprogetti.html>

99 <https://www.saipem.com>

100 Decreto-legge 15 novembre 2023, n. 161, art 1, par. 2.

9

LE INFRASTRUTTURE PER LO STOCCAGGIO DELL'ANIDRIDE CARBONICA



Le tecnologie dedicate alla Carbon Capture and Storage (CCS) e alla Carbon Capture Usage and Storage (CCUS) sono considerate un'importante componente della roadmap verso la decarbonizzazione.

La CCS consente di depositare permanentemente, all'interno di formazioni geologiche sotterranee e sottomarine, l'anidride carbonica generata da filiere industriali ad alto tasso di emissioni (cd. hard-to-abate, come siderurgia, cementifici, industria della carta e del vetro), sfruttando i volumi porosi (reservoirs) di giacimenti oil&gas esauriti o in via di esaurimento. La CCUS permette una valorizzazione intermedia dell'anidride carbonica, attraverso ad esempio la miscelazione con l'idrogeno per la realizzazione di carburanti sintetici. Nel caso dei reservoirs nel sottofondo mari-

no, la CO₂ liquefatta viene trasportata via nave fino a un terminal che a sua volta è collegato a un gasdotto sottomarino attraverso il quale si inietta il fluido di scarto nel serbatoio del sottosuolo per lo stoccaggio in una struttura geologica dalla comprovata tenuta idraulica, valorizzando tecniche che sono state implementate con successo per la prima volta a largo di Haugesund in Norvegia a partire dal 1996. In questo ambito, al settembre 2025, vi sono al mondo oltre 20 progetti operativi con circa 50 milioni di tonnellate di CO₂ per anno (MTPA) catturate e più di 40 progetti in fase di sviluppo.

Secondo i dati puntuali dell'International Energy Agency¹⁰¹ del febbraio 2026 gli attuali 62,8 Mtpa di emissioni stoccate a livello globale e di impianti in costruzione per 15,8 Mtpa saliranno a 314,4 Mtpa con i progetti pianificati al 2030, ma dovranno salire a oltre 6.200 Mtpa entro il 2050 per contribuire a raggiungere l'azzeramento netto e limitare il riscaldamento globale a 1,5°C.

9.1 Il ruolo della tecnologia e della normativa a supporto del Carbon Capture

Nello sforzo di limitare il riscaldamento globale a 1,5 gradi, in linea con l'Accordo di Parigi, sia la CCS sia la CCUS sono identificate sia a livello europeo che internazionale come una misura necessaria, con focus sui settori hard to abate.

In particolare, i risultati delle strategie climatiche europee esplicitamente dipendono in parte dall'imple-

mentazione delle tecniche di CCUS e di rimozione della CO₂. Tra queste, il Green Deal Industrial Plan¹⁰² e il Net-Zero Industry Act¹⁰³, che individuano entrambe la CCUS come una tecnologia necessaria per raggiungere la neutralità climatica. Poiché alcune emissioni non possono essere completamente evitate (ad esempio alcune emissioni di processo nella produzione industriale), la cattura di queste emissioni e il loro stoccaggio permanente diventano una soluzione necessaria.

Nella gerarchia delle strategie di riduzione delle emissioni dei Piani Nazionali Energia e Clima redatti dai Paesi europei, emerge sempre che le priorità sono

101 CCUS Projects Explorer – Data Tools - IEA.

102 COM 2023/62 "Un piano industriale per il Green Deal per l'era a zero emissioni nette".

103 Regolamento UE del 13 giugno 2024 che istituisce un quadro di misure per rafforzare l'ecosistema europeo di produzione delle tecnologie a zero emissioni nette e che modifica il regolamento (UE) 2018/1724.

l'efficienza energetica e l'uso delle energie rinnovabili per sostituire le fonti energetiche fossili. Per gli ambiti hard to abate, fra cui anche il trasporto marittimo e le attività in ambito portuale, emerge come, la cattura, l'utilizzo e lo stoccaggio del carbonio possa essere una strategia da utilizzare.

A sostegno dello sviluppo di questa tecnologia il Governo nazionale ha previsto uno specifico ridisegno del quadro normativo attraverso un disegno di legge attualmente in fase di discussione nei rami del Parlamento¹⁰⁴.

La cattura della CO₂, così come la compressione e la liquefazione per preparare la CO₂ per il trasporto, sono tutti processi ad alta intensità energetica. Questo è il fattore che contribuisce maggiormente

al costo operativo di un progetto di cattura, spesso indicato come "penalità energetica". Il divario tra la CO₂ catturata e la CO₂ evitata può essere ridotto includendo le emissioni della fonte energetica all'interno del progetto di cattura o implementando misure di elettrificazione, recupero di calore, ed efficienza energetica per ridurre l'intensità delle emissioni della fonte energetica. La riduzione della penalizzazione energetica rimane una priorità per lo sviluppo della tecnologia di cattura e i miglioramenti nei materiali, nei processi e nelle strategie di integrazione dei siti sono tutti promettenti.

Ad esempio, l'applicazione e l'adozione della tecnologia di cattura del carbonio a bordo delle navi dipende da fattori di costo e di prezzo, come i costi di investimento, il livello di penalizzazione del carburante,

104 Si tratta dello schema di disegno di legge recante "Delega al governo per la definizione di un quadro legislativo di riferimento per la filiera carbon capture and storage (CCS), nonché per la disciplina dello sviluppo dell'idrogeno, dell'assetto regolatorio del settore e delle relative infrastrutture di rete, e del sistema di governo per l'adempimento agli obblighi di riduzione delle emissioni di metano nel settore dell'energia", presentato dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica il 30 Giugno 2025. Nel marzo del 2026 ha preso avvio l'iter parlamentare come DDL 1836. Il Disegno di legge, all'art 1 "Delega al Governo in materia di cattura, trasporto, utilizzo e stoccaggio geologico del biossido di carbonio", prevede che 1. Entro dodici mesi dalla data di entrata in vigore della presente disposizione, il Governo è delegato ad adottare uno o più decreti legislativi per la definizione di una disciplina organica delle attività di cattura, trasporto, utilizzo e stoccaggio geologico del biossido di carbonio, di seguito «filiera CCUS», anche mediante il riordino e il riassetto della normativa vigente. 2. I decreti legislativi di cui al comma 1 sono adottati sulla base dei seguenti principi e criteri direttivi: a) definire la disciplina della filiera CCUS in coerenza con gli obiettivi del Piano nazionale integrato per l'energia e il clima (PNIEC) e in un'ottica di complementarità rispetto all'impiego delle fonti rinnovabili e ai processi di efficientamento energetico per l'abbattimento delle emissioni di biossido di carbonio nel settore industriale, nonché nella produzione termoelettrica, anche da rifiuti urbani, nella produzione di gas a basso tenore di carbonio, nell'utilizzo di combustibili di origine biogenica e nel prelievo di biossido di carbonio direttamente dall'atmosfera; b) stabilire, nell'ambito della filiera CCUS, che le attività di trasporto tramite rete e di stoccaggio geologico, in quanto presentano caratteristiche di monopolio naturale, sono sottoposte alla regolazione dell'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA); c) garantire che l'accesso alla rete di trasporto e ai siti di stoccaggio avvenga secondo modalità trasparenti e non discriminatorie, sulla base di criteri di efficienza, anche economica, definendo un sistema tariffario certo, trasparente, basato su criteri predefiniti; d) definire i compiti e le funzioni di regolazione e controllo dell'ARERA in relazione alla filiera CCUS; e) prevedere ulteriori modalità di trasporto del biossido di carbonio, diverse da quelle di trasporto tramite rete; f) stabilire regole per la separazione delle attività della filiera CCUS, al fine di promuovere la concorrenzialità delle attività di cattura, di utilizzo e di trasporto, diverse da quelle tramite rete, del biossido di carbonio; g) disciplinare uno specifico procedimento per l'approvazione dei piani di sviluppo delle infrastrutture di trasporto e di stoccaggio del biossido di carbonio, tenendo conto anche dell'adeguatezza, dell'economicità degli investimenti e degli obiettivi di decarbonizzazione del PNIEC; h) disciplinare il regime di diritti e responsabilità in relazione alle attività di cattura, trasporto, stoccaggio e utilizzo di biossido di carbonio; i) definire standard tecnici di qualità e sicurezza delle attività relative a ciascun segmento della filiera CCUS, anche mediante rinvio alla normazione tecnica applicabile; l) definire termini e modalità di utilizzo del biossido di carbonio in conformità alla disciplina eurounitaria; m) disciplinare un procedimento unico per il rilascio di ogni titolo abilitativo allo svolgimento delle attività di cattura, di trasporto ovvero di stoccaggio di biossido di carbonio, ivi compresi quelli di compatibilità ambientale; n) stabilire che il procedimento unico per il rilascio dei titoli abilitativi allo svolgimento delle attività di stoccaggio di biossido di carbonio comprenda anche la concessione del relativo sito; o) coordinare, sotto il profilo formale e sostanziale, il testo delle disposizioni legislative vigenti nelle materie interessate dai decreti legislativi di cui al comma 1, apportando le modifiche e le integrazioni necessarie a garantire o migliorare la coerenza giuridica, logica e sistematica della normativa, anche attraverso l'abrogazione espressa delle norme che hanno esaurito la loro funzione o sono prive di effettivo contenuto normativo o sono comunque obsolete, fatta salva in ogni caso l'applicazione dell'articolo 15 delle disposizioni sulla legge in generale premesse al codice civile. 3. I decreti legislativi di cui al comma 1 sono adottati su proposta del Presidente del Consiglio dei ministri e del Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica, previa acquisizione del parere della Conferenza unificata di cui all'articolo 8 del decreto legislativo 28 agosto 1997, n. 281. Gli schemi dei decreti legislativi di cui al comma 1 sono trasmessi alle Camere ai fini dell'espressione dei pareri da parte delle Commissioni parlamentari competenti per materia, che si pronunciano nel termine di trenta giorni dalla data di trasmissione. Decorso il termine previsto per l'espressione dei pareri parlamentari, i decreti legislativi possono essere comunque adottati. Qualora i termini per l'espressione dei pareri parlamentari scadano nei trenta giorni che precedono la scadenza del termine di delega di cui al comma 1, o successivamente, quest'ultimo è prorogato di novanta giorni. 4. Entro dodici mesi dalla data di entrata in vigore di ciascuno dei decreti legislativi di cui al comma 1, il Governo può adottare uno o più decreti legislativi recanti disposizioni integrative e correttive, nel rispetto dei principi e criteri direttivi di cui al comma 2 e secondo la procedura di cui al comma 3. 5. Dall'attuazione del presente articolo non devono derivare nuovi o maggiori oneri a carico della finanza pubblica. Le amministrazioni interessate provvedono all'adempimento dei compiti derivanti dall'esercizio della delega di cui al presente articolo con le risorse umane, strumentali e finanziarie disponibili a legislazione vigente.

i costi operativi, la perdita di capacità di trasporto del carico e i costi di scarico e stoccaggio della CO₂, nonché da fattori economici come il prezzo del carbonio e il prezzo del carburante. L'adozione dipende anche dalla creazione di infrastrutture per lo scarico e lo stoccaggio sicuro della CO₂ a livello globale (o regionale) in ambito portuale. Anche i fattori normativi e regolatori influenzeranno la diffusione. Oggi, solo il sistema di scambio delle quote di emissione dell'UE (ETS¹⁰⁵) ha adottato un quadro normativo che fornisce incentivi per l'uso della cattura del carbonio a bordo delle navi. Tuttavia, l'IMO¹⁰⁶ ha solo avviato, ma non ancora concluso, il piano di lavoro per lo sviluppo di un quadro normativo per l'uso della cattura del carbonio a bordo. La conclusione dei lavori è prevista per il 2028. Sulla base delle previsioni di DNV¹⁰⁷, anche l'UE prenderà in considerazione l'inclusione della cattura del carbonio a bordo nella prossima revisione dei regolamenti FuelEU Maritime.

Le infrastrutture dedicate alla CCS devono svilupparsi parallelamente ai progetti di cattura per superare

i rischi della catena trasversale; cioè, i rischi affrontati da ogni parte della catena del valore se un'altra parte non dovesse funzionare per qualsiasi motivo (Lockwood, 2024). Gli emettitori hanno bisogno di opzioni di trasporto e di stoccaggio per investire nella cattura, mentre gli investitori in infrastrutture hanno bisogno di certezze sulla futura domanda di CO₂. Le decisioni di investimento necessitano di una ragionevole certezza in tutta la catena del valore della CCS. Ciò richiede rapide iterazioni politiche per garantire la co-evoluzione della cattura e delle infrastrutture comuni. Il Joint Research Centre dell'UE¹⁰⁸ ha stimato i costi di investimento necessari per le reti europee di trasporto CO₂ dal 2025 al 2050. Entro il 2050, la rete potrebbe raggiungere una lunghezza considerevole, fino a 19.000 km, e richiederà investimenti compresi tra 9,3 miliardi di euro e 23,1 miliardi di euro. L'estensione e il costo della rete possono essere ridotti sviluppando capacità di stoccaggio nelle regioni in cui le capacità attuali sono insufficienti (ad esempio l'Europa meridionale e orientale) per evitare il trasporto di

105 Emission Trading Systems.

106 IMO — International Maritime Organization (2025). MEPC83 – Marine Environment Protection Committee, 83rd session April 2025.

107 DNV (2024), "The Potential of onboard carbon capture in shipping".

108 European Commission, Joint Research Center, Tumara, D., Uihlein, A. and Hidalgo Gonzalez, I., (2024) Shaping the future CO₂ transport network for Europe, Publications Office of the European Union, Luxembourg.



CO₂ su lunghe distanze. Per ridurre i costi di investimento, la pianificazione e lo sviluppo delle capacità di stoccaggio e dei progetti di cattura della CO₂ devono essere attentamente coordinati, in particolare per i progetti transfrontalieri.

In particolare, i fondi, fra cui l'Innovation Fund, derivanti dalle tassazioni delle emissioni di anidride carbonica, che in modo crescente andranno a gravare sul settore dei trasporti attraverso l'applicazione della

normativa degli ETS, che dal 1 Gennaio del 2024 si applica in modo graduale anche al trasporto marittimo e che dal 2027 sarà estesa anche al trasporto stradale delle merci, permetteranno co-finanziamenti ad iniziative di conversione a carburanti alternativi e alla diffusione di infrastrutture a supporto della decarbonizzazione. Fra queste vi sono anche quelle dedicate al CCUS.

9.2 Il progetto di Carbon Capture a Ravenna

Uno dei principali progetti di sviluppo di questi depositi è quello avviato da ENI a largo di Porto Corsini con una capacità iniziale dalla fine del 2026 pari a 4 MTPA.

Questo progetto risulta essere il primo nel Mediterraneo. La Fase 1 del progetto si propone di catturare, trasportare e stoccare la CO₂ emessa dalla centrale Eni di trattamento del gas naturale di Casalborgorsetti, stimata in circa 25 mila tonnellate annue. Il progetto sta garantendo un livello di abbattimento superiore al 90%, con punte fino al 96%, della CO₂ in uscita dal camino della centrale, posizionandosi come il primo progetto al mondo su scala industriale con tale efficienza di cattura. Nei prossimi anni, in corrispondenza della Fase 2, è previsto lo sviluppo su scala industriale di Ravenna CCS, con l'obiettivo di stoccare fino a 4 milioni di tonnellate l'anno entro il 2030, in linea con gli obiettivi definiti dal Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima. Grazie alla capacità totale di stoccaggio dei giacimenti a gas esauriti dell'Adriatico, i volumi catturati e immagazzinati nel sottosuolo potranno raggiungere 16 milioni di tonnellate all'anno in base alla domanda del mercato, che fra i target includerà anche la CO₂ catturata dalle

emissioni delle navi. Alla luce delle sue caratteristiche e del potenziale di stoccaggio, il progetto di Ravenna si candida a diventare il polo italiano per la decarbonizzazione delle industrie energy intensive e hard to abate. Con l'obiettivo di accelerare gli investimenti in questa filiera, alla fine del 2025 Eni ha finalizzato l'operazione con la Global Infrastructure Partners (GIP), investitore globale leader nel settore delle infrastrutture che fa parte di BlackRock, per la cessione di una partecipazione pari al 49,99 per cento in Eni CCUS Holding, società leader globale nel settore della CCS. Con tale operazione Eni e GIP detengono con giuntamente il controllo della società che, attraverso le proprie controllate, opera i progetti nel Regno Unito di Liverpool Bay e Bacton, oltre al progetto L10-CCS in Olanda. La società ha, inoltre, il diritto di acquisire il 50 per cento detenuto da Eni del progetto CCS Ravenna in Italia e potrà includere altri potenziali progetti in una più ampia piattaforma di iniziative CCUS nel medio-lungo termine.

Nell'ottobre del 2024 un impianto di cattura della CO₂ a Ferrara, che andrà a regime nel 2028, promosso da Hera in collaborazione con Saipem, ha ottenuto un co-finanziamento dall'Innovation Fund di 24 mln di euro, costituendo un esempio potenzialmente replicabile in diversi contesti portuali.

10

RACCOMANDAZIONI
DI POLICY PER RAFFORZARE
IL RUOLO DELL'ECONOMIA
SOTTOMARINA A SUPPORTO
DELLO SVILUPPO
SOSTENIBILE



La posizione geografica italiana, baricentrica nel Mediterraneo, e la sua rete portuale avanzata conferiscono un ruolo centrale alla Penisola per gli scambi eu-ro-mediterranei e la proiezione infrastrutturale europea verso l’Africa e il Medio Oriente.

Questa collocazione geografica pone l’Italia in prima fila nelle iniziative di valenza europea, come ad esempio, l’EU Action Plan nel settore dei cavi sottomarini o la declinazione del programma Global gateway anche nei settori della trasmissione di energia elettrica e nei cavi digitali, pertanto le opportunità di valorizzare i co-finanziamenti europei disponibili per questi ambiti, fra cui, ad esempio l’Innovation Fund o il programma CEF, risultano fondamentali per lo sviluppo delle infrastrutture sottomarine nella ZEE italiana. Infatti, il rafforzamento di queste reti contribuisce ad una maggior indipendenza ed autonomia in settori considerati strategici per la competitività europea, fra cui l’energia, il digitale e la filiera agro-alimentare.

L’attenzione crescente allo sviluppo dell’economia dell’underwater a livello nazionale è testimoniato non solo dalle iniziative del settore industriale, ma anche

da specifiche policy governative. Riguardo a quest’ultimo aspetto è da evidenziare la recente creazione di nuovi poli istituzionali e industriali a supporto della governance delle infrastrutture sottomarine e l’utilizzo di strumenti di protezione dell’interesse economico nazionale, ponendo limiti al ruolo di azionisti esteri, oltreché una maggiore attenzione agli aspetti di pianificazione dei fondali. Questi interventi di policy sono sintetizzati nelle seguenti iniziative:

- Creazione del Polo Nazionale della Dimensione Subacquea (PNS) (2023),
- Istituzione del Critical Underwater Infrastructure Security Center (CUISC) (2024),
- Approvazione dei Piani di gestione dello spazio marittimo (PSM) (2024)
- Istituzione dell’Agenzia per la Sicurezza delle Attività Subacquee (ASAS) (2026),

e l’uso del Golden Power nella fusione Saipem–Subsea7 (2025) e nella cessione di Sparkle, a tutela degli interessi nazionali (2026). I risultati delle analisi e delle valutazioni sviluppate nello studio sono sintetizzati nella tabella successiva, che permette di comprendere i livelli di maturità tecnologica e commerciale, oltreché le opportunità di sviluppo all’interno della ZEE italiana, delle diverse tipologie di infrastrutture sottomarine qui prese in considerazione.

Figura 11: I livelli di maturità tecnologica, commerciale e le opportunità di sviluppo nella ZEE italiana delle diverse tipologie di infrastrutture sottomarine

Tipologia di infrastruttura sottomarina	Maturità tecnologica	Maturità commerciale	Opportunità di sviluppo nella Zona Economica Esclusiva italiana
Per la produzione di energia elettrica da moto ondoso	Le tecnologie sono collaudate, sebbene in fase di ottimizzazione meccanica e senza uno standard dominante e con prototipi a scala ridotta	Le tecnologie di questo tipo non raggiungono il livello di bancabilità senza sussidi o senza il supporto di fondi di ricerca pubblici	Non sono presenti installazioni commerciali stabilmente collegate alla rete e gli investimenti attivi sono limitati ad un numero molto ridotto di iniziative di ricerca e dimostratori
Per la distribuzione di energia elettrica	Le tecnologie sono collaudate e in continua e rapida espansione su scala mondiale, anche in sinergia con lo sviluppo dei parchi eolici off shore e la maggior richiesta di integrazione e bilanciamento fra mercati anche molto distanti	Il settore è in grado di attrarre diverse tipologie di investitori anche per progetti particolarmente ambiziosi per volume di investimento e per distanze	Le iniziative promosse da Terna su scala nazionale ed internazionale sono particolarmente complesse per lunghezza e profondità dei fondali attraversati, costituendo una best practice a livello mediterraneo

Per le comunicazioni	Le tecnologie sono collaudate e in continua e rapida espansione su scala mondiale, anche in sinergia con lo sviluppo dell'AI e dei data centers	Il settore è in grado di attrarre diverse tipologie di investitori anche per progetti particolarmente ambiziosi per volume di investimento e per distanze	L'Italia già ospita stazioni di approdo internazionali a Genova, Bari, Catania e Mazara del Vallo, inoltre il settore valorizza gli expertise di diverse aziende nazionali leader nei settori della sensoristica, cybersecurity e sorveglianza
Infrastrutture minerarie	Le tecnologie sono in fase di rapido sviluppo, ma non hanno ancora raggiunto livelli di standardizzazione	Il settore risente delle forti differenze nelle sensibilità ambientali fra Paesi che non permettono di raggiungere accordi commerciali ed economie di scala; inoltre la complessità logistica e gli alti costi di investimento ed operativi rendono non economicamente sostenibili le esplorazioni se non con il supporto di incentivi pubblici	Il quadro normativo europeo restrittivo e i fondali poco ricchi di terre rare offrono opportunità molto limitate all'interno della ZEE nazionale, sebbene sia un comparto in cui le tecnologie dual use (militare e civile) possono essere valorizzate
Infrastrutture a supporto dell'alghicoltura	Le tecnologie sono in fase di rapido sviluppo, ma non hanno ancora raggiunto livelli di standardizzazione	I progetti commerciali sono focalizzati al di fuori dell'Europa, ma la possibilità di offrire diversi servizi ecosistemici ed in sinergia anche con altri investimenti off-shore (e.g. impianti eolici) favorisce i ritorni economici dell'investimento	Non sono presenti iniziative commerciali di rilevanza, ma i progetti di ricerca e dimostratori possono portare ad iniziative potenzialmente interessanti
Infrastrutture a supporto del bio-farming	Le tecnologie sono ancora in fase prototipale e ben distanti dai livelli di standardizzazione	I progetti commerciali sono limitati e non sono chiari i ritorni economici degli investimenti	L'iniziativa Nemo's garden ha permesso di testare materiali e modelli organizzativi fra i primi al mondo in quest'ambito
Infrastrutture per lo stoccaggio della CO2	Le tecnologie sono sperimentate dal 1996 ed in fase di standardizzazione	I progetti commerciali sono diffusi su scala mondiale ma dalla redditività ancora incerta	I progetti promossi da ENI, SNAM e Saipem a Ravenna costituiscono una best practice a livello Mediterraneo, ma difficilmente replicabili in altri contesti nazionali

Fonte: Elaborazioni SDA Bocconi su fonti diverse

Le direttrici di sviluppo in grado di offrire maggiori opportunità per il sistema nazionale sono quelle relative al mercato delle infrastrutture per la trasmissione di energia elettrica, quelle a supporto del settore delle telecomunicazioni e quelle per lo stoccaggio di anidride carbonica. Questa visione di sintesi non esclude però la possibilità per i principali player nazionali del settore di poter offrire il proprio know-how ed expertise in altri contesti geografici anche rispetto alle altre tipologie di infrastrutture, come già avviene negli ambiti dell'oil&gas offshore.

I settori qui analizzati hanno una valenza geopolitica e geoeconomica di tipo strategico pertanto ogni proposta tesa allo sviluppo di questi comparti deve considerare anche le potenzialità derivanti dal rafforzamento delle collaborazioni fra le strategie della Marina Militare e quelle imprese del settore per mitigare

i rischi di sicurezza rispetto alle infrastrutture critiche sottomarine, attraverso una condivisione delle attività di monitoraggio e protezione. Questo aspetto sarà favorito dall'entrata in vigore delle ultime disposizioni attuative dell'ASAS, previste entro la fine del 2027.

Le analisi hanno permesso di evidenziare come le potenzialità di sviluppo tecnologico in tutti i settori siano ancora rilevanti e che sia necessario raggiungere economie di scala e sinergie fra diversi ambiti per poter raggiungere una maturità commerciale, pertanto le proposte di iniziative di policy di seguito sintetizzate vanno in questa direzione.

In particolare, favorire la pianificazione congiunta di iniziative in ambito off-shore e sottomarine è un tema chiave per poter raggiungere un'adeguata capacità di attrazione di investimenti, come ad esempio lo svi-

luppo dell'alghicoltura o di parchi fotovoltaici galleggianti nelle aree oggetto di sviluppo di parchi eolici off-shore.

Anche alla luce delle esperienze in corso nell'ambito della filiera dedicata alla produzione di energia eolica offshore, lo sviluppo di hub portuali specializzati nella gestione di cavi sottomarini, sia a supporto della trasmissione di energia elettrica sia per il settore delle telecomunicazioni, può favorire la creazione di poli di tipo industriale legati, fra gli altri, ai data center, che richiedono l'ottimizzazione delle connessioni energetiche e digitali. Le aree di Genova, Bari e Catania, ad esempio, hanno già un vantaggio specifico dal punto di vista geografico che può esser rafforzato da un adeguata pianificazione portuale per favorire le imprese di servizio a supporto di questi ambiti. Inoltre, l'industria navalmeccanica italiana ha già una specifica esperienza nel settore delle navi posacavi, che può esser rafforzata anche con iniziative ad

hoc a supporto della riduzione dei costi operativi, ad esempio, attraverso la semplificazione degli aspetti amministrativi legati all'iscrizione al registro navale internazionale per mantenere la bandiera italiana e relativi, ad esempi ad arruolamenti e documentazione equipaggi, semplificazione dell'ordinamento marittimo (DDL n. 673/2023 – c.d. "Malan"), standardizzazione dei dossier autorizzativi per i lavori di posa e di riparazione.

La possibilità di rafforzare le sinergie fra i molteplici settori interessati allo sviluppo di tecnologie per la valorizzazione delle opportunità offerte dal contesto sottomarino (energia, digitale, difesa, sicurezza, acquicoltura, alghicoltura, stoccaggio di anidride carbonica) può essere favorita anche da un coordinamento dei percorsi di formazione specializzata sul tema.

La tabella successiva sintetizza queste proposte.

Figura 12: Sintesi delle proposte per rafforzare il ruolo del Sistema Paese nel mercato delle infrastrutture sottomarine

Valorizzazione posizione geografica	Le infrastrutture sottomarine nella ZEE nazionale hanno una valenza europea e mediterranea, pertanto, la valorizzazione dei cofinanziamenti comunitari (e.g. CEF e Global Gateway), assume una rilevanza strategica, in una logica di autonomia strategica e sicurezza continentale, come indicato anche nelle premesse del Piano Mattei
Dual use	Rafforzamento dell'approccio dual use fra civile e militare per la sicurezza delle infrastrutture sottomarine critiche e la condivisione di tecnologie avanzate. Questo aspetto potrà esser supportato dal completamento dell'iter di istituzione dell'Agenzia per la Sicurezza delle Attività Subacquee (ASAS) previsto nel corso del 2026
Pianificazione sinergica	Pianificazione sinergica fra le diverse tipologie di infrastrutture sottomarine ed off-shore, per valorizzare le sinergie e le complementarità nell'investimento e, soprattutto, nelle fasi di manutenzione
Riduzione costi logistici	Rafforzamento delle economie di specializzazione e di scala nelle attività di logistica di supporto nei comparti marittimo e portuale, con una logica che tenga conto della necessità di rafforzare la competitività e l'efficienza sia delle aree portuali dedicate sia della flotta di navi specializzate, e.g. attraverso la semplificazione degli aspetti amministrativi legati all'iscrizione al registro navale internazionale per mantenere la bandiera italiana, semplificazione dell'ordinamento marittimo, standardizzazione dei dossier autorizzativi per i lavori di posa e di riparazione
Formazione	Coordinamento dei percorsi di formazione, ricerca e trasferimento tecnologico per poter supportare lo sviluppo e le innovazioni in logica multifunzionale e con uso militare e civile

Fonte: Elaborazioni SDA Bocconi su fonti diverse

Bibliografia

- AERO (2025), *“Position Paper: il fotovoltaico galleggiante offshore per l'Italia”*, Associazione delle Energie Rinnovabili Offshore, Roma.
- Baccelli O. (2024) *“New Scenarios in International Transportation and Global Value Chain Transformation”*, chapter of Logistics in Transition. Exploring Geopolitical, Economic, and Technological Trends edited by Secchi C. and Gili A., ISPI Report - Giugno 2024
- Baccelli O. (2024) *“Policy europee e nazionali per lo sviluppo dell'intermodalità marittima: stima degli effetti socio-economici dell'applicazione dell'Emission Trading System (ETS) e del Sea Modal Shift (SMS) in Italia”* in REPOT la Rivista di Economia e Politica dei Trasporti, 2, 2024, Trieste
- Bermejo, R., Buschmann, A., Capuzzo, E., Cottier-Cook, E., Fricke, A., Hernández, I., Laurie Carol Hofmann, L. C., Pereira, R. and S. van den Burg (2022). *State of knowledge regarding the potential of macroalgae cultivation in providing climate-related and other ecosystem services*. Report prepared by an Eklipse Working Group
- Carnevale, A. (2021), *“È italiana la prima fattoria sottomarina del mondo”*. EconomiaCircolare.com
- Cohan, M. (2023), *“Nemo's Garden: The future of farming could be under the sea”*. CNN
- Commissione Europea (2025), *“Piano d'azione dell'UE sulla sicurezza dei cavi”*, documento JOINT(2025) 9 final del 21 febbraio 2025
- Commissione Europea (2025), *“Il patto europeo per gli oceani”*, COM(2025) 281 final del 5 giugno 2025.
- EEA – European Environmental Agency (2021), *“EU maritime transport: first environmental impact report acknowledges good progress towards sustainability and confirms that more effort is needed to prepare for rising demand”*
- EMSA/EEA (2023), *“European Maritime Transport Environmental Report 2023”*
- ERRA – Energy&Environment Research Associates (2024) *“Well-to-Tank Carbon Intensity of European LNG Imports”*, 25 Agosto 2024, report per Transport&Environment
- ESPO – European Seaport Organisation and Deloitte, (2021), *“Europe's port at the cross-roads”*
- European Environmental Agency - EEA (2023), *“Transport and environment report 2022”*.
- European Environmental Agency - EEA (2023), *“Use of auctioning revenues generated under the EU Emissions Trading System”*, December.
- European Parliament: Directorate-General for Internal Policies of the Union, Kuech, A., Breuer, M. and Popescu, I., *The future of the EU algae sector*, European Parliament, 2023
- Hein J.R. e Kira Mizell (2022), *“Deep-Ocean Polymetallic Nodules and Cobalt-Rich Ferro-manganese Crusts in the Global Ocean”* in The United Nations Convention on the Law of the Sea, Part XI Regime and the International Seabed Authority: A Twenty-Five Year Journey.
- International Cable Protection Committee - ICPC (2025), *“ICPC Media Factsheet: Submarine Cable Protection & Resilience”*.

- ICS - International Chamber of Shipping (2022), *"Fuelling the fourth propulsion revolution. An opportunity for all"*, London.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2019), *"Rapporto speciale dell'IPCC sull'oceano e la criosfera in un clima che cambia"*
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2022), *"The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change"*
- ISA (2024), *"Policy brief: Current status of the reserved areas with the International Sea-bed Authority"*.
- ISPRA (2024), *"Le emissioni di gas serra in Italia. Obiettivi di riduzione al 2030"*, Maggio
- ITF (2018), *"Reducing Shipping Greenhouse Gas Emissions: Lessons From Port-Based In-centives"*
- ITF (2022), *"Performance of Maritime Logistics"*, International Transport Forum Policy Papers, No. 106, OECD Publishing, Paris
- Jones, D.O.B., et al. (2025), *"Long-term impact and biological recovery in a deep-sea mining track"*. Nature 642, 112–118.
- Kuech, A., Breuer, M., Popescu, I., 2023, *Research for PECH Committee – The future of the EU algae sector*, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels
- Koshino, Y. (2024), *"The changing submarine cables landscape: Expanding the EU's role in the Indo-Pacific"*. EU Institute for Security Studies (EUISS)
- LR-MDH and ZEMBA, (2024), *Availability of E-fuels and Zero-Emission Capable Vessels from 2027–2030: Key Findings from a Request for Information for the Zero Emission Maritime Buyers Alliance*, Oct.
- Marques, A.F.S.; Sánchez-Gallego, Á.; Correia, R.R.; Sousa-Pinto, I.; Chemello, S.; Louro, I.; Lemos, M.F.L.; Franco, J.N. (2024) *Assessing Atlantic Kelp Forest Restoration Efforts in Southern Europe*. Sustainability
- McKinsey Sustainability (2025), *Ocean carbon dioxide removal: What's on the horizon?*
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), (2025, 2024, 2023, 2022, 2021, 2020, 2019 e 2018), *"Relazione annuale sulla sicurezza energetica"*, Novembre, Roma.
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), (2024), *"Strategia Nazionale Idrogeno"*, Novembre, Roma
- Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili (2022) *"Decarbonizzare i trasporti. Evidenze scientifiche e proposte di policy"*, Aprile, Roma.
- OECD (2025), *The Ocean Economy to 2050*, OECD Publishing, Paris
- OECD (2016), *The Ocean Economy in 2030*, OECD Publishing, Paris,

- Oreglia E. (2024), *“Digital Silk Road: tech cinese oltre frontiera”*. ISPI Commentary
- Pistelli, L., R. Ascrizzi, C. Giuliani, C. Cervelli, B. Ruffoni, E. Princi, G. Fontanesi, G. Flamini, L. Pistelli, Luisa (2020), *“Growing basil in the underwater biospheres of Nemo’s Garden®: Phytochemical, physiological and micromorphological analyses”*. Scientia Horticulturae. 259.
- Royal HaskoningDHV, (2022), *“The new energy landscape. Impact on and implications for European ports, report per ESPO e EFIP”*, Amersfoort.
- RSE - Ricerca Sistema Energetico (2023), *“Trasporto marittimo sostenibile nel contesto energetico attuale e futuro - Progetto Mobilità sostenibile e interazione con il sistema energetico”*, di Claudio Carlini e Danilo Bertini.
- SRM (2026), *“Italian Maritime Economy. 13° Rapporto annuale”*
- Tavares da Costa, R., Krausmann, E., Hadjisavvas, C., (2023), *“Impacts of climate change on defence-related critical energy infrastructure”*
- TeleGeography, (2025), *Submarine Cable Map*.
- The Lloyd’s Register Maritime Decarbonisation Hub, (2024), *“How close is the shipping industry to adopting nuclear for propulsion?”*, July, London
- Theuerkauf SJ, Barrett LT, Alleway HK, Costa-Pierce BA, St. Gelais A, Jones RC. *Habitat value of bivalve shellfish and seaweed aquaculture for fish and invertebrates: Path-ways, synthesis and next steps*. Rev Aquac. 2021; 14: 54–72.
- UCL e UMAS (2024), *“Transition Trends: International Shipping Emissions from 2018 to 2022”*, November 2024, London
- UNCTAD (2024), *“Review of Maritime Transport 2024”*, November, Geneva.
- UNEP-WCMC and ICPC. (2025). *Submarine cables and marine biodiversity*.
- Unione Europea (2024), *“Regolamento (UE) 2024/1252 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell’11 aprile 2024 che istituisce un quadro atto a garantire un approvvigionamento sicuro e sostenibile di materie prime critiche e che modifica i regolamenti (UE) n. 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 e (UE) 2019/1020.”*
- Visonà M, Bezzo F., d’Amore F (2024), *“Techno-economic analysis of onboard CO₂ capture for ultra-large container ships”*, Chemical Engineering Journal, 485
- Zhang Q, Chen X., Luan L., Sha F., Liu X, (2025) *“Technology and equipment of deep-sea mining: State of the art and perspectives”*, Earth Energy Science, Volume 1, Issue 1, Pages 65-84.

Acronimi e definizioni

AdM: Autostrade del Mare

AdSP: Autorità di Sistema Portuale

ARERA: Autorità di Regolazione per Energia Rete e Ambiente

CINEA: European Climate Infrastructure and Environment Executive Agency

CC: Carbon Capture

CCS: Carbon Capture and Storage

CCUS: Carbon Capture Usage and Storage

CII: Carbon Intensity Indicator

DEASP: Documento di Pianificazione Energetico e Ambientale

EEDI: Energy Efficiency Design Index

EEX EUA: European Energy Exchange EU General Allowances

EEXI: Energy Efficiency Existing Ship

EMEC: European Marine Energy Centre

EMS: European Maritime Space

EST: Energy Saving Technologies

ETS: Emission Trading System

FSRU: Floating Storage and Regasification Units

GHG: Green House Gases

GME: Gestore dei Mercati Energetici Spa

GNL: Gas Naturale Liquefatto

HFO: Heavy Fuel Oil

HTA: Hard to Abate

HVO: Hydrotreated Vegetable Oils

IMO: International Maritime Organisation

IMR: Indice di Market Readiness

IVS: Indice di Vulnerabilità Strategica

LCA: Life Cycle Assessment

LCOE: Levelized Cost of Electricity

LOHCs: Liquid Organic Hydrogen carriers

MARPOL: International Convention for the Prevention of Pollution from Ship

MASE: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica

MDO: Marine Diesel Oil

MIT: Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

MTPA: Million Tonnes Per Annum

MVA: Megavolt-Ampere

NZIA: Net Zero Industrial Act

OPS: On-shore Power Supply

OSP: Oneri di Servizio Pubblico

P2G: Power to Gas

P2P: Peer to Peer

PNRR: Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza

PWR: Pressurized Water Reactor

RAM: RAM - Logistica, Infrastrutture e Trasporti Spa

REE: Rare Earth Elements

RFID: Radio Frequency Identification

RFNBO: Renewable Fuels of Non-Biological Origin

Ro/Pax: Roll on- Roll-off per Passeggeri

Ro/Ro: Roll on- Roll off

SECA: Sulphur Emission Control Area

SEEMP: Ship Energy Efficiency Management Plan

TAP: Trans Adriatic Pipeline

ZEE: Zona Economica Esclusiva

ZEMBA: Zero Emission Maritime Buyers Alliance

ZEWT: Zero-Emission Waterborne Transport