FINCANTIERI

srm

L’underwater nel Mediterraneo

Infrastrutture critiche, sicurezza economica e capacità industriali nel nuovo spazio strategico europeo



con il contributo di

Fondazione Compagnia di San Paolo

advisor scientifico

Fondazione CSF

con la collaborazione di

ossermare
OSSERVATORIO NAZIONALE SULL’ECONOMIA DEL MARE

EUROPEAN COUNCIL ON FOREIGN RELATIONS
ecfr.eu

REPORT 2026

Il presente studio ha ricevuto il sostegno della Fondazione Compagnia di San Paolo nell'ambito del bando "Geopolitica e tecnologia". Advisor Scientifico: Fondazione CSF

Partner del Progetto di Ricerca

SRM - Centro Studi e Ricerche (Capofila), Fincantieri S.p.A.,
OsserMare - Osservatorio Nazionale sull'Economia del Mare,
ECFR - European Council on Foreign Relations.

AUTORI

Board della Ricerca

Massimo DEANDREIS (SRM), **Andrea CASTINO** (Fincantieri S.p.A.)

Team tecnico-scientifico della Ricerca

SRM: **Alessandro PANARO** (Coordinatore), **Salvio CAPASSO**, **Agnese CASOLARO**, **Autilia COZZOLINO, Olimpia FERRARA** e **Marina RIPOLI**

Fincantieri: **Andrea CASTINO**, **Federico BOLLE**, **Giorgio CIMINO**, **Enrico DELLA GATTA**, **Veronica LOSTUZZO**, **Andrea SAVINO** e **Mirko STIFANI**

OsserMare: **Antonello TESTA** e **Roberta BUSATTO**

ECFR: **Arturo VARVELLI** e **Alberto RIZZI**

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano esprimere un sincero ringraziamento ai rappresentanti delle istituzioni, dei centri di ricerca e delle imprese che hanno contribuito alla realizzazione del presente Rapporto attraverso la condivisione di analisi, esperienze e prospettive sullo sviluppo dell'ecosistema underwater italiano.

La disponibilità e il qualificato contributo offerto hanno rappresentato un importante valore aggiunto per l'approfondimento dei temi affrontati nel Rapporto e per la comprensione delle principali dinamiche che caratterizzano il settore.

Un particolare ringraziamento è rivolto a **Roberta PINOTTI**, Presidente della Fondazione Polo Nazionale della Dimensione Subacquea; **Dario DESTE**, Direttore Generale della Fondazione Polo Nazionale della Dimensione Subacquea; **Paola DEL NEGRO**, Presidente dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS); **Giovanni INDIVERI**, Direttore del Centro Interuniversitario di Ricerca sui Sistemi Integrati per l'Ambiente Marino (ISME); **Roberto CAPRILE**, Responsabile Ricerca e Sviluppo, di Leonardo Sistemi Integrati S.r.l.; **Giuseppe MAFFIA**, Chief Financial Officer NextGeo S.p.A.; **Annamaria LA CIVITA**, Direttore Assonave.

Uno speciale ringraziamento al Presidente di Assonautica Italiana, Si.Camera e della Camera di Commercio di Frosinone Latina, **Giovanni ACAMPORA**, per aver collaborato e favorito lo sviluppo del progetto di ricerca.

Ricerca aggiornata con statistiche e dati disponibili a giugno 2026.

Edizione digitale: ISBN 978-88-6906-596-5

© 2026 Giannini Editore
Napoli - via Cisterna dell'Olio, 6/b
www.gianninispa.it

Indice

Introduzione e struttura del rapporto 5

Prima parte
Geopolitica, Mediterraneo e infrastrutture critiche

Capitolo 1. Il Mediterraneo come spazio strategico underwater europeo: infrastrutture critiche, sicurezza e competizione geopolitica nei fondali marini

1. Premessa 8
2. Il Mediterraneo nel sistema globale dei cavi sottomarini 9
3. Operatori europei e vulnerabilità strutturali 12
4. Infrastrutture energetiche sottomarine nel Mediterraneo 15
5. Competizione geopolitica, difesa, e sicurezza delle infrastrutture underwater 17
6. Implicazioni per l'Unione Europea e opzioni strategiche 21
7. Conclusioni 22

Capitolo 2. Porti, shipping e infrastrutture underwater nel Mediterraneo

1. Premessa 24
2. L'evoluzione strategica dell'industria marittima e underwater 24
3. Densità dei traffici marittimi nel Mediterraneo e implicazioni operative per l'underwater 27
4. Il Mediterraneo come spazio ad alta densità underwater 37
5. Shipping, flotta specializzata e filiera cantieristica: focus sul ruolo strategico dell'Italia 47
6. Conclusioni 52

Seconda parte
Filiera industriale, tecnologie e capacità operative

Capitolo 3. La filiera manifatturiera attivata dall'underwater: struttura, posizionamento competitivo e mercati di riferimento

1. Premessa e obiettivi 55
2. Il mercato della robotica underwater: cuore tecnologico e di sviluppo della filiera 57
3. Il valore socioeconomico della filiera attivata dall'underwater 60
4. Commercio internazionale, specializzazioni e mercati di riferimento della filiera 66
5. La geografia dei mercati: destinazioni dell'export e fonti di approvvigionamento 73

Box. La ricerca italiana sulla dimensione underwater: patrimonio di conoscenze in evoluzione 80

Capitolo 4. L'ecosistema industriale dell'underwater: settori, capacità e attori strategici

1. Premessa 81
2. Sfruttamento diretto delle risorse sottomarine 83
3. Trasporto di risorse energetiche 90
4. Trasporto sottomarino di dati 92
5. Realizzazione di veicoli navali di supporto 93
6. Protezione e difesa delle infrastrutture critiche 93
7. Altri settori 97
8. Principali player di filiera 101
9. Strutturazione del comparto industriale e armonizzazione regolamentare 103
10. Complessità e frammentazione del mercato: la necessità di uno spazio di integrazione 104
11. Il ruolo dell'orchestratore: governance integrata e leadership tecnologica 105

Capitolo 5. Tecnologie underwater: sistemi autonomi, sensoristica e capacità operative avanzate

1. Premessa 107
2. Comunicazione subacquea 108
3. Gestione (comando e controllo / orchestrazione) di veicoli e fonti dati eterogenee 109
4. Sviluppo nuovi veicoli 112
5. Sviluppo nuovi payload / sensoristica 119
6. Simulazione 124

Considerazioni strategiche e linee di policy 130

Il rapporto nel quadro "Geopolitica e tecnologia" 137

Special Focus. Le prospettive dell'ecosistema underwater: evidenze dal confronto con gli stakeholder 138

Acronimi e definizioni 143

Appendice metodologica 145

Introduzione e struttura del rapporto

Il presente rapporto nasce con l'obiettivo di analizzare il dominio underwater come uno spazio strategico nel quale convergono dinamiche geopolitiche, infrastrutture critiche, capacità industriali e innovazione tecnologica. La crescente centralità delle reti sottomarine per il trasporto di dati, energia e flussi logistici rende infatti il mare e i fondali una dimensione sempre più rilevante per la sicurezza economica, la resilienza infrastrutturale e la competitività dei sistemi produttivi europei.

Negli ultimi anni, l'attenzione internazionale verso il dominio underwater è cresciuta significativamente in conseguenza dell'aumento delle interdipendenze globali, dell'espansione delle infrastrutture digitali ed energetiche e dell'emergere di nuove vulnerabilità geopolitiche. Cavi sottomarini, reti offshore, infrastrutture portuali, sistemi subsea e capacità tecnologiche avanzate costituiscono oggi componenti essenziali del funzionamento delle economie contemporanee e della stabilità delle connessioni euro-mediterranee.

In questo quadro, il Mediterraneo assume una particolare rilevanza strategica. Il bacino rappresenta uno dei principali punti di connessione tra Europa, Africa e Asia e concentra una quota crescente di traffici commerciali, infrastrutture energetiche e reti di telecomunicazione. Allo stesso tempo, tale centralità accresce l'esposizione a rischi geopolitici, vulnerabilità infrastrutturali e dinamiche competitive che coinvolgono attori statali, industriali e tecnologici.

Il rapporto si propone pertanto di offrire una lettura integrata dell'ecosistema underwater, adottando un approccio interdisciplinare che combina prospettive geopolitiche, economiche, marittime, industriali e tecnologiche. La struttura del lavoro riflette volutamente questa pluralità di approcci e competenze, articolandosi in due parti complementari ma strettamente connesse tra loro, ulteriormente arricchite da un'analisi qualitativa che raccoglie il punto di vista di stakeholder direttamente impegnati nello sviluppo della dimensione underwater italiana.

Geopolitica, Mediterraneo e infrastrutture critiche

La prima parte del rapporto, realizzata con il contributo di ECFR, SRM e OsserMare, sviluppa una lettura geopolitica e geo-economica del dominio underwater, concentrandosi sul ruolo del Mediterraneo quale spazio strategico per la sicurezza economica europea, la resilienza delle infrastrutture critiche e il funzionamento delle reti logistiche, energetiche e digitali. In questa sezione, particolare attenzione viene dedicata alla centralità dei porti, dello shipping e delle connessioni sottomarine nel quadro delle trasformazioni che stanno interessando le catene globali del valore e gli equilibri geopolitici contemporanei.

Il primo capitolo analizza il Mediterraneo come spazio strategico underwater europeo, evidenziando come il controllo e la protezione delle infrastrutture sottomarine siano divenuti elementi centrali della competizione geopolitica internazionale.

È approfondito il ruolo delle infrastrutture critiche nei fondali marini e il crescente intreccio tra sicurezza economica, connettività digitale, approvvigionamenti energetici e competizione strategica.
Il secondo capitolo analizza invece il rapporto tra porti, shipping e infrastrutture underwater nel Mediterraneo, mettendo in evidenza il ruolo dei sistemi portuali e delle reti marittime nella costruzione di un ecosistema logistico e infrastrutturale integrato. Il Mediterraneo emerge qui come piattaforma strategica nella quale traffici commerciali, landing point, reti digitali ed energia tendono a convergere in una dimensione sempre più interdipendente.

Filiera industriale, tecnologie e capacità operative

La seconda parte del rapporto affronta il dominio underwater da una prospettiva industriale, tecnologica e operativa, evidenziando come la resilienza delle infrastrutture critiche dipenda sempre più dalla disponibilità di capacità manifatturiere, competenze tecnologiche avanzate, filiere integrate e sistemi operativi dedicati.
Il terzo capitolo analizza la filiera manifatturiera attivata dall'underwater, ricostruendone struttura produttiva, posizionamento competitivo e mercati di riferimento. Attraverso l'analisi delle connessioni tra manifattura, commercio internazionale e specializzazione industriale, il capitolo evidenzia come il dominio underwater non costituisca un comparto isolato, ma un ecosistema economico-industriale trasversale, capace di attivare filiere tecnologiche e reti produttive integrate.
Il quarto capitolo approfondisce l'ecosistema industriale dell'underwater, analizzando le principali capacità operative, infrastrutturali e industriali che sostengono lo sviluppo delle attività subsea. In questa prospettiva, infrastrutture offshore, sistemi avanzati e attori industriali emergono come elementi sempre più rilevanti per la sicurezza economica, la competitività e l'autonomia strategica europea. Particolare attenzione è dedicata alle reti sottomarine per la trasmissione di informazioni, elettricità e risorse energetiche. La crescente dipendenza delle economie avanzate da tali reti rende infatti il dominio underwater una componente essenziale della continuità operativa dei sistemi economici contemporanei.
Il quinto capitolo analizza le tecnologie underwater e i sistemi avanzati che stanno trasformando il settore subsea, con particolare riferimento ai sistemi autonomi, alla sensoristica, al monitoraggio e alle applicazioni per la gestione e la protezione delle infrastrutture sottomarine. L'innovazione tecnologica emerge qui come uno dei principali fattori di trasformazione del dominio underwater.

A conclusione del rapporto, il capitolo dedicato alle "Considerazioni strategiche e linee di policy" propone una sintesi delle principali evidenze emerse dall'analisi, individuando alcune priorità strategiche per il rafforzamento della resilienza underwater europea e mediterranea. Le riflessioni finali si concentrano in particolare sulla sicurezza economica, sulle infrastrutture critiche, sulle capacità industriali e sulla necessità di sviluppare forme sempre più integrate di cooperazione pubblico-privata e coordinamento europeo.
Il rapporto si chiude infine con una riflessione sul quadro "Geopolitica e Tecnologia" promosso dalla Fondazione Compagnia di San Paolo (Advisor Scientifico: Fondazione CSF), nell'ambito del quale il progetto è stato sviluppato. Le analisi presentate intendono infatti contribuire alla comprensione del modo in cui le trasformazioni tecnologiche stiano ridefinendo gli equilibri geopolitici, economici e industriali contemporanei, evidenziando il ruolo crescente del dominio underwater quale spazio strategico di convergenza tra infrastrutture critiche, innovazione tecnologica e sicurezza economica.

Prima parte

Geopolitica, Mediterraneo e infrastrutture critiche

Capitolo 1.

Il Mediterraneo come spazio strategico underwater europeo: infrastrutture critiche, sicurezza e competizione geopolitica nei fondali marini

1. Premessa

Negli ultimi due decenni, il dominio underwater è passato da infrastruttura invisibile a fattore centrale della capacità economica e della competizione geopolitica. Cavi sottomarini per le telecomunicazioni, gasdotti, oleodotti e interconnessioni elettriche costituiscono oggi l'ossatura materiale della globalizzazione digitale ed energetica. La loro sicurezza, proprietà e governance non sono più questioni tecniche o commerciali, ma elementi chiave della sicurezza economica degli Stati e delle regioni. In questo contesto, il Mediterraneo emerge come uno degli spazi underwater più strategici e vulnerabili per l'Europa.

Più del 95% del traffico dati intercontinentale viaggia su cavi sottomarini. Allo stesso tempo, una quota significativa delle importazioni energetiche europee — in particolare gas e, sempre più, elettricità — dipende da infrastrutture sottomarine. La crescente digitalizzazione delle economie, l'espansione del cloud computing, dell'intelligenza artificiale e dei servizi data-intensive hanno aumentato in modo esponenziale il valore strategico di questi asset. Parallelamente, l'abbandono della Russia come fornitore energetico europeo a seguito dell'invasione dell'Ucraina ha reso il dominio marittimo e sottomarino fondamentale anche per la sicurezza energetica dell'UE.

Il Mediterraneo concentra entrambe queste dimensioni. È un mare relativamente chiuso, attraversato da rotte obbligate, che collega Europa, Medio Oriente, Africa e Asia. Dal punto di vista geoeconomico, il bacino mediterraneo rappresenta un gigantesco hub di transito di merci, comunicazioni digitali e forniture energetiche. Costituisce inoltre la porta all'Africa e all'Asia, fornitori di beni e mercati in crescita.

Il Mediterraneo è uno spazio altamente frammentato, caratterizzato dalla presenza simultanea di potenze globali, attori regionali assertivi e Stati con capacità limitate di controllo e sorveglianza dei fondali marini.

A differenza di altri bacini strategici, come l'Atlantico settentrionale o il Pacifico, il Mediterraneo combina tre caratteristiche critiche. In primo luogo, l'elevata densità infrastrutturale: cavi e condotte sono spesso concentrati lungo poche rotte, aumentando il rischio sistemico in caso di interruzioni. In secondo luogo, la prossimità geografica tra infrastrutture civili e spazi di competizione militare o ibrida, conseguenza in larga parte della concentrazione. In terzo luogo, una governance frammentata, soprattutto rispetto al mar Baltico, in cui l'Unione Europea condivide il bacino con Paesi terzi che hanno interessi, capacità e allineamenti strategici molto diversi.

Questa combinazione rende il Mediterraneo particolarmente esposto a dinamiche di competizione ibrida. Le infrastrutture sottomarine non sono solo oggetti da proteggere, ma leve potenziali di influenza – o coercizione – economica e politica. Interruzioni, danneggiamenti o semplici minacce credibili possono produrre effetti economici immediati, senza necessariamente superare la soglia del conflitto armato. In questo senso, il dominio sottomarino diventa uno spazio privilegiato per strategie indirette, dove ambiguità e difficoltà di attribuzione aumentano i rischi.

Per l'Europa, la questione è resa ancora più complessa dalla trasformazione dei modelli industriali e di proprietà delle infrastrutture e degli asset strategici. Nel settore dei cavi sottomarini, il tradizionale sistema consortile guidato dagli operatori di telecomunicazioni europei è stato progressivamente sostituito da un modello dominato dai Big Tech globali e da investitori extraeuropei. Analogamente, nel settore energetico, la ristrutturazione delle catene di fornitura e la transizione verso fonti rinnovabili stanno ridefinendo il valore strategico delle interconnessioni sottomarine. In entrambi i casi, l'Europa è chiamata a portare avanti cambiamenti strutturali, affrontando sfide di dipendenze strategiche e scegliendo con cura gli investimenti futuri. In questo quadro, il dominio sottomarino emerge come una delle dimensioni forse meno visibili ma più decisive della sicurezza economica europea nel XXI secolo.

2. Il Mediterraneo nel sistema globale dei cavi sottomarini

Nel sistema globale delle comunicazioni digitali, i cavi sottomarini rappresentano l'infrastruttura critica per eccellenza. Nonostante l'immaginario collettivo associ Internet a satelliti e collegamenti wireless, quasi l'intero traffico dati internazionale — comprese transazioni finanziarie, servizi cloud, comunicazioni governative e militari — dipende da una rete fisica di circa 1,3 milioni chilometri di cavi adagiati sui fondali oceanici.[1] In questo sistema, il Mediterraneo occupa una posizione sproporzionata rispetto alle sue dimensioni geografiche, configurandosi come uno dei principali colli di bottiglia a livello globale, nonché della connettività tra l'Europa e il resto del mondo.

[1] Joint Research Centre (8 agosto 2025), The JRC explains: Subsea cables: how vulnerable are they and can we protect them?

Dal punto di vista geoeconomico, il Mediterraneo è uno spazio di transito obbligato tra tre regioni centrali dell'economia digitale: Europa, Medio Oriente e Asia. Una quota significativa dei collegamenti tra i data hub europei e quelli asiatici e africani attraversa il bacino mediterraneo, spesso passando per snodi altamente concentrati come il Canale di Sicilia, il Mediterraneo orientale o le vie di accesso al Mar Rosso. Questa concentrazione rende il Mediterraneo non solo un hub, ma anche un punto di vulnerabilità sistemica: interruzioni o attacchi localizzati possono produrre effetti a cascata su scala continentale per l'Europa.

Negli ultimi anni, la crescita esponenziale del traffico dati ha ulteriormente amplificato questa centralità. L'espansione del cloud computing, dello streaming, dell'e-commerce e, più recentemente, delle applicazioni basate su intelligenza artificiale ha aumentato la domanda di capacità, bassa latenza e affidabilità. Il valore dei nuovi cavi sottomarini messi in attività fra il 2025 e il 2027 è stimato in oltre 13 miliardi di dollari, un valore più che doppio rispetto agli investimenti tra il 2022 e il 2024.[2] L'Europa, in particolare, è diventata sempre più dipendente da collegamenti ad alta capacità verso l'esterno, sia per sostenere la competitività delle proprie economie digitali, sia per garantire l'accesso a infrastrutture e servizi dominati da attori spesso non europei. In questo contesto, il Mediterraneo funziona come una vera e propria "autostrada dei dati" e la sicurezza dei suoi cavi sottomarini costituisce un aspetto cruciale per la sicurezza economica del continente.

Questa dipendenza è accentuata dalla struttura stessa della rete. A differenza di una maglia distribuita e ridondante, il sistema dei cavi mediterranei presenta una forte concentrazione geografica delle rotte e dei punti di approdo. Tale concentrazione dipende prevalentemente da due fattori; a livello geografico, necessariamente il Canale di Sicilia costituisce un collo di bottiglia nei collegamenti verso Medio Oriente e Asia. Inoltre, pur con lo sviluppo di punti di approdo multipli, l'effetto concentrazione spinge alla costruzione di datacenter nei punti meglio serviti dall'infrastruttura sottomarina, e viceversa. Per gli operatori del settore, conviene realizzare datacenter in prossimità dei punti di approdo, e la presenza di queste infrastrutture contribuisce a sua volta a rendere tali punti più attrattivi per la realizzazione di cavi. Paesi come Italia, Francia, Grecia e Spagna ospitano landing station cruciali, ma spesso con capacità limitate di controllo effettivo sui flussi e sugli asset a causa delle nuove dinamiche che regolano la realizzazione e la posa di cavi sottomarini. Al tempo stesso, molti cavi collegano direttamente l'Europa a Paesi terzi, attraversando acque e giurisdizioni caratterizzate da instabilità politica o da relazioni strategiche complesse con l'Unione Europea, rendendo ulteriormente articolato il quadro di sovranità delle infrastrutture.

Parallelamente all'aumento della centralità del Mediterraneo, si è assistito a una trasformazione profonda del modello proprietario e di governance dei cavi sottomarini. Storicamente, la posa e la gestione dei cavi erano dominate da consorzi di operatori di telecomunicazioni, spesso nazionali o regionali. Questo modello consortile, con fortissima presenza di aziende di stato, rifletteva una logica di cooperazione regolata, in cui gli investimenti erano condivisi e l'infrastruttura era considerata come una utility strategica, in rari casi privata e in molti altri direttamente pubblica. Nel Mediterraneo, questo approccio ha permesso per decenni un relativo equilibrio tra interessi commerciali e controllo pubblico.

[2] TeleGeography (28 aprile 2026), Building Tomorrow's Internet: A 2026 Update on Cable Investment.

Negli ultimi dieci-quindici anni, tuttavia, questo modello è entrato in crisi. La crescente domanda di capacità e la necessità di investimenti rapidi e su larga scala hanno favorito l'ingresso diretto dei grandi attori tecnologici globali. Le Big Tech statunitensi — e, in misura crescente, altri attori extraeuropei — sono diventate protagoniste nella progettazione, nel finanziamento e nella proprietà dei nuovi cavi. Questo cambiamento ha avuto effetti strutturali sul Mediterraneo, dove molti dei nuovi collegamenti sono pensati per servire direttamente i data center e le piattaforme globali, più che le esigenze dei mercati nazionali europei. Su un'altra direttrice, quella USA-UE, oltre il 90% della capacità dei cavi è di proprietà di Big Tech statunitensi[3] e la loro presenza sta crescendo rapidamente anche sulle connessioni europee con Asia e Africa.

Dal punto di vista geoeconomico, l'ascesa dei Big Tech ha aumentato l'efficienza e la capacità della rete, ma ha anche spostato il baricentro del controllo. Le decisioni su dove posare i cavi, quali rotte privilegiare e quali nodi rafforzare rispondono sempre più a logiche aziendali globali, piuttosto che a priorità di sicurezza economica regionale. Per l'Europa, questo significa beneficiare di infrastrutture avanzate, ma al prezzo di una ridotta capacità di indirizzo strategico. Il Mediterraneo, pur ospitando fisicamente i cavi, rischia di diventare uno spazio di transito governato altrove. I tradizionali operatori di telecomunicazioni giocano ormai un ruolo secondario nella realizzazione di infrastrutture sottomarine, rappresentando una quota assai ridotta degli investimenti.

A questa trasformazione si aggiunge il ruolo crescente di investitori e attori extraeuropei, inclusi fondi sovrani e attori con forti legami governativi. In particolare, la presenza cinese nel settore dei cavi — attraverso forniture tecnologiche, partecipazioni finanziarie e standard — solleva interrogativi non solo sulla sicurezza dei dati, ma anche sulla capacità europea di mantenere autonomia decisionale in un'infrastruttura critica. Nel Mediterraneo, dove l'Europa interagisce quotidianamente con Paesi MENA e attori regionali, questa dimensione assume una rilevanza ancora maggiore. La rapida crescita di Huawei Tech, molto vicina al Partito Comunista Cinese, pone questioni importanti geoeconomiche e strategiche nella realizzazione delle infrastrutture sottomarine mediterranee.

Un ulteriore elemento di trasformazione riguarda l'evoluzione dei costruttori e dei fornitori di posa e manutenzione dei cavi. La capacità industriale globale si è progressivamente concentrata in un numero ristretto di aziende, alcune delle quali extraeuropee. Concentrazioni di mercato e proprietà di asset critici rendono queste aziende attori globali a tutti gli effetti, in grado di utilizzare la propria posizione per esercitare pressioni su governi nazionali. La disponibilità di navi posa-cavi, la rapidità di intervento in caso di guasti e l'accesso alle tecnologie più avanzate sono diventati fattori di potere strutturale. In caso di crisi o tensioni geopolitiche, la dipendenza da fornitori esterni può tradursi in ritardi, costi elevati o limitazioni operative, con impatti diretti sulla resilienza della rete mediterranea.

Dal punto di vista politico, queste dinamiche pongono l'Europa di fronte a un dilemma. Da un lato, il mercato dei cavi sottomarini è intrinsecamente globale e interdipendente; tentativi di "nazionalizzazione" o chiusura sarebbero controproducenti. Dall'altro, la concentrazione di asset critici in uno spazio geograficamente e politicamente complesso come il Mediterraneo rende evidente la necessità di una maggiore consapevolezza strategica.

[3] Submarine Cable Networks (24 ottobre 2025), EU Publishes Landmark Report and Funding for Cable Hubs.

Il controllo delle infrastrutture digitali non riguarda solo la sicurezza delle comunicazioni, ma anche la capacità di attrarre investimenti, sostenere l'innovazione e garantire continuità operativa in situazioni di stress geopolitico. Nello scenario globale contemporaneo, occorre infatti avere adeguata preparazione per affrontare eventi avversi, anche quelli di probabilità relativamente ridotta ma in grado di avere effetti estremamente impattanti sulla sicurezza economica europea.

Le implicazioni per l'Europa sono quindi profonde. In assenza di una visione coordinata, il rischio è che il Mediterraneo diventi una zona di esposizione strategica, in cui infrastrutture vitali per l'economia europea sono gestite da attori esterni e attraversano contesti instabili. Inoltre, la frammentazione delle responsabilità e delle procedure per la protezione delle infrastrutture critiche complica il quadro di sorveglianza e di risposta, aumentando la vulnerabilità. Al tempo stesso, il potenziale del Mediterraneo come hub digitale potrebbe essere valorizzato in modo più attivo, trasformando la centralità geografica in leva di influenza economica e normativa. Questo richiederebbe però un approccio che integri politiche industriali, regolazione delle infrastrutture critiche e cooperazione anche con i Paesi della sponda Sud.

In definitiva, il Mediterraneo nel sistema globale dei cavi sottomarini non è semplicemente un corridoio infrastrutturale, ma uno spazio in cui si intrecciano logiche di mercato, potere e sicurezza. La sua evoluzione riflette trasformazioni più ampie dell'economia digitale globale e mette in luce le tensioni tra efficienza economica e controllo strategico. Per l'Europa, comprendere e governare queste dinamiche è una condizione essenziale per preservare la propria sicurezza economica in un mondo sempre più connesso e competitivo.

3. Operatori europei e vulnerabilità strutturali

Nonostante il Mediterraneo ospiti una parte significativa delle infrastrutture digitali e energetiche più critiche per l'Europa, il ruolo degli operatori e delle aziende europee nel dominio sottomarino appare in continua trasformazione. Da un lato, imprese europee continuano a svolgere funzioni chiave nella gestione, nell'approdo e nell'operatività delle infrastrutture sottomarine. Dall'altro, il controllo strategico su questi asset si è progressivamente ridotto, esponendo l'Unione Europea a una serie di vulnerabilità che non sono solo tecniche, ma profondamente politiche ed economiche.

Nel settore dei cavi sottomarini, gli operatori europei mantengono una presenza rilevante nella realizzazione e posa dei cavi sottomarini, soprattutto grazie ad attori come la francese Alcatel Submarine Networks (ASN) e le italiane Sparkle e Prysmian. Sia per Parigi che per Roma il valore strategico di tali aziende ha portato a un maggiore controllo pubblico: la Francia tra fine 2024 e inizio 2025 ha nazionalizzato ASN[4] in ragione del valore strategico dell'azienda, mentre l'Italia ha ceduto Sparkle a un consorzio che vede una forte presenza del Ministero delle Finanze accanto a investitori internazionali.[5] Leggermente diverso è il contesto USA, dove il mercato è dominato dagli hyperscalers privati; tuttavia, il costruttore di cavi SubCom è il fornitore esclusivo del Dipartimento della Difesa,[6] per il quale realizza i collegamenti con le basi militari oltreoceano e sistemi di sorveglianza sottomarini.

[4] Le monde (4 novembre 2024), ASN, fabricant « stratégique » de câbles télécoms sous-marins, nationalisé par l'Etat.

[5] Start Magazine (15 aprile 2025), Chi controllerà Sparkle venduta da Tim.

[6] Reuters (6 luglio 2023), Inside the subsea cable firm secretly helping America take on China.

Da un lato il panorama mondiale sta cambiando con un ruolo sempre più forte delle aziende tech come investitori e controllori dei cavi, dall'altro la concentrazione industriale si somma alle rivalità geopolitiche, limitando le opzioni di partnership e aumentando le possibili interferenze. ASN, SubCom, HMN e la giapponese NEC detenevano sommate il 98% del mercato globale nel 2021,[7] stabilendo un effettivo oligopolio che diventa ancor più stringente considerando come gli operatori internet americani ormai seguano il decoupling strategico USA dalla Cina. La sovranità tecnologica europea risulta poi ulteriormente circoscritta analizzando la complessa catena del valore dei cavi sottomarini: per i ripetitori la dipendenza da produttori USA è pressoché totale e vi sono limiti anche nella produzione domestica europea di fibra ottica e microchip.[8] Questo complesso gioco di interdipendenze strategiche non rende necessariamente l'Europa più debole, ma impone di confrontarsi con partner internazionali tra cooperazione e vulnerabilità. Inoltre, in un contesto economico internazionale sempre più influenzato dalle decisioni politiche e meno da logiche di pura efficienza, il mantenimento di capacità critiche domestiche diventa un importante valore aggiunto per la sicurezza economica. Sicurezza economica che nel mondo delle infrastrutture sottomarine può essere concepita soltanto a livello europeo e non nazionale.

Paesi come Italia, Francia e Spagna rappresentano nodi essenziali della rete mediterranea, ospitando punti di approdo che collegano l'Europa al Medio Oriente, all'Africa e all'Asia. Tuttavia, questa centralità geografica non si traduce automaticamente in potere strutturale. La forte presenza di attori privati, spesso e volentieri extraeuropei, contribuisce a rendere le decisioni strategiche su capacità, rotte e priorità di investimento sempre meno "euro-centriche". I principali operatori sono ormai infatti attori globali che utilizzano il Mediterraneo come corridoio funzionale alle proprie reti e che non rispondono alle priorità europee.

Questa asimmetria è particolarmente evidente nelle vulnerabilità tecniche. La concentrazione delle rotte rappresenta uno dei principali fattori di rischio. In molte aree del Mediterraneo, più cavi seguono tracciati simili o convergono in pochi punti di approdo, creando colli di bottiglia fisici. L'efficienza economica perseguita dagli operatori spinge a realizzare cavi nei tratti marittimi più convenienti, con una concentrazione estremamente massiccia nel Canale di Sicilia, dove passano oltre una ventina di cavi sottomarini, tra cui quasi tutti i collegamenti con Africa e Asia Orientale. Fa eccezione infatti il sistema Blue-Raman,[9] realizzato proprio da Sparkle, che passando dallo Stretto di Messina e approdando in Israele evita anche il collo di bottiglia egiziano. Tuttavia, appena oltre i confini del Mediterraneo resta l'enorme vulnerabilità dello Stretto di Bab el Mandeb, una vulnerabilità dettata tanto dalla geografia quanto dalla complessa geopolitica regionale. L'episodio della Rubymar, la nave affondata dagli Houthi la cui ancora danneggiò almeno tre cavi sottomarini,[10] costituisce un drammatico promemoria di come l'infrastruttura di comunicazione sia esposta e vulnerabile. Eventi accidentali — come trascinamento di ancore o reti da pesca rappresentano circa il 70% dei danneggiamenti annuali dei cavi sottomarini. Si tratta però di azioni che rientrano con facilità nella "zona grigia" di difficile attribuzione e dove la negazione plausibile da parte di attori rivali costituisce un fattore di vulnerabilità strategica.

---

[7] Pioneer Consulting (2021), Suppliers of Undersea Telecommunications Systems.

[8] Commissione Europea (23 ottobre 2025), Relazione sulla sicurezza e la resilienza delle infrastrutture di cavi sottomarini dell'UE.

[9] Idem.

[10] CSIS (7 marzo 2024), Red Sea Cable Damage Reveals Soft Underbelly of Global Economy.

A ciò si aggiunge il tema della manutenzione e delle riparazioni. La capacità di intervenire rapidamente in caso di guasto dipende da una combinazione di fattori: disponibilità di navi posa-cavi, accesso alle tecnologie necessarie, autorizzazioni politiche e cooperazione tra Stati. Il consorzio MECMA — Mediterranean Cable Maintenance Agreement,[11] il principale organo di manutenzione dei cavi sottomarini del Mediterraneo – dispone di solo due navi per le riparazioni: la Sophie Germain, di base a Marsiglia, e la Antonio Meucci di stanza a Catania. Se la Sophie Germain, entrata in servizio nel 2023, è un natante all'avanguardia, la Antonio Meucci è operativa dal 1988 e si approssima al suo fine vita e verrà sostituita solo nel 2028-29 da una nave gemella costruita in Sri-Lanka[12] (come la Sophie Germain), a testimonianza di come le interdipendenze non si fermino ai cavi ma includano gli asset per ripararli. Se questa flotta rappresenta un asset adeguato ad affrontare situazioni di stress normali – con danneggiamenti ai cavi nella media – non sarebbe invece sufficiente a far fronte a simultanee rotture multiple in diverse località del Mediterraneo. Per quanto questo possa apparire come uno scenario estremo, il sempre più difficile contesto di sicurezza globale e le vicende di sabotaggi ai cavi sottomarini nel Mar Baltico impongono all'Europa di aumentare le proprie capacità di resilienza dell'infrastruttura sottomarina e di prepararsi ad affrontare situazioni che appaiono poco probabili ma che, se si verificassero, potrebbero avere conseguenze estremamente dirompenti. Proprio in questo ambito, il cambiamento dei modelli proprietari e di investimenti nel settore comporta conseguenze di estrema importanza. Da un lato il modello di business delle Big Tech, ormai gli attori dominanti del panorama dei cavi sottomarini, non prevede di dotarsi di questi asset oltre le necessità dell'ordinaria amministrazione, anche perché risultano assai costosi da acquisire e mantenere. Dall'altro lato, un'analisi condotta dal Joint Committee on the National Security Strategy britannico[13] mostra come non ci sia neppure tra gli operatori del settore la consapevolezza che l'infrastruttura possa essere oggetto di attacchi coordinati di attori rivali e come la gestione del rischio resti "business as usual" nonostante il difficile contesto geopolitico attuale. Gli unici attori con le risorse a disposizione per costruire elevata resilienza del sistema non hanno necessariamente contezza delle vulnerabilità e gli attori statali, consci invece delle sfide, non hanno spesso la capacità finanziaria per investimenti di larga scala che possano contenere i rischi.

Il controllo degli asset rappresenta un'ulteriore area di vulnerabilità. Sebbene molti cavi approdino in territorio europeo, la proprietà, la gestione dei flussi e i diritti decisionali sono spesso frammentati tra una pluralità di soggetti privati. Questo rende complesso per le autorità pubbliche ottenere una visione completa dello stato della rete e intervenire in modo coordinato in caso di emergenza. Anche l'assicurarsi capacità residua su un'altra infrastruttura in caso di attacchi a un cavo sottomarino dipende quasi esclusivamente da contratti fra privati, nonostante il valore assolutamente critico di questi collegamenti. Nel Mediterraneo, inoltre, il quadro è ulteriormente complesso a causa di rivalità sulle rispettive zone economiche esclusive che rendono a tratti complessa non solo l'attribuzione di responsabilità per la protezione dei cavi, ma anche la loro stessa posa.

[11] Mediterranean Cable Maintenance Agreement [https://www.mecmamc.org/].

[12] SubSea Cables (4 novembre 2025), Orange Marine Expands Fleet to Safeguard Global Submarine Networks.

[13] Joint Committee on the National Security Strategy (2025), First Special Report of Session 2024–26, Subsea telecommunications cables: resilience and crisis preparedness.

La competizione fra attori globali, in primo luogo tra Stati Uniti e Cina, ha portato a un vero e proprio disaccoppiamento dell'infrastruttura sottomarina tra connessioni sviluppate dalle Big Tech americane e da aziende cinesi, ormai sviluppatesi lungo l'intera catena del valore. E il panorama dei cavi sottomarini mediterranei testimonia pienamente questa divergenza. Il sistema PEACE,[14] che collega la Francia all'Africa e all'Asia ed è stato realizzato da HMN, convive a poca distanza da SeaMeWe-5,[15] realizzato da ASN e NEC, mentre il sistema Blue-Raman è guidato da Google.[16] Per l'Europa tutte queste connessioni sono fondamentali e nei sistemi realizzati da attori non europei sconta una vulnerabilità importante in quanto risulta dipendente per la sua connettività sia da decisori privati – spesso anch'essi non comunitari – che da potenziali rivali, le cui logiche commerciali e politiche sono assai distanti dalle necessità pubbliche di sicurezza economica europea.

Queste vulnerabilità, occorre segnalarlo, non sono il risultato di singole scelte europee, quanto piuttosto l'esito di trasformazioni strutturali dell'economia globale e soprattutto del sistema tecnologico. Tuttavia, nel contesto mediterraneo, esse assumono una rilevanza particolare a causa della sensibilità di tali collegamenti e di fattori specifici della regione. La combinazione di centralità geografica, instabilità regionale e competizione geopolitica rende il Mediterraneo uno spazio in cui le debolezze europee sono più esposte e potenzialmente sfruttabili da attori rivali.

4. Infrastrutture energetiche sottomarine nel Mediterraneo

Nel contesto della sicurezza energetica europea, il Mediterraneo rappresenta oggi uno degli spazi più rilevanti e, al tempo stesso, più complessi. Le infrastrutture energetiche sottomarine — gasdotti e interconnessioni elettriche — costituiscono infatti il collegamento fisico tra l'Europa e un insieme eterogeneo di Paesi fornitori energetici e partner commerciali, in un bacino caratterizzato da instabilità politica, rivalità regionali e crescente competizione geopolitica. La loro importanza va ben oltre la dimensione tecnica: esse sono strumenti di integrazione e sicurezza energetica, leve di potere geoeconomico e potenziali punti di vulnerabilità sistemica per l'Unione Europea.

I gasdotti sottomarini hanno storicamente rappresentato l'architrave del rapporto energetico euro-mediterraneo, basato sulla fornitura di idrocarburi da parte della sponda sud ai consumi industriali della sponda nord, in un rapporto sostanzialmente complementare. Tuttavia, nel contesto del disaccoppiamento energetico tra Europa e Russia, confermato più recentemente dal divieto europeo di importazione di gas russo (sia via gasdotto che GNL) a partire dal 2027,[17] questi gasdotti sono divenuti centrali nelle strategie energetiche UE. La disponibilità di collegamenti sottomarini nel Mediterraneo e di produttori con capacità residua nella sponda meridionale ha infatti permesso all'Europa, e in particolare all'Italia, una più rapida e agile diversificazione dal gas russo. Al tempo stesso questo processo ha riportato l'attenzione sul fronte sud dell'Europa, caratterizzato da un deterioramento del quadro di sicurezza regionale.

[14] PEACE Cable System [http://www.peacecable.com/].

[15] Telegeography (dicembre 2016), Submarine Cable Map - SeaMeWe-5.

[16] Submarine Networks, Blue-Raman.

[17] Consiglio Europeo (26 gennaio 2026), Divieto progressivo di importazione di gas russo: via libera definitivo del Consiglio. Comunicato Stampa.

La riduzione delle forniture russe ha riportato al centro dell'agenda europea gasdotti che, fino a poco tempo prima, erano considerati asset maturi o marginali. Il rafforzamento dei flussi dal Nord Africa verso l'Italia e la Spagna ha evidenziato come il Mediterraneo sia diventato uno dei principali assi di riorientamento del sistema energetico europeo. In questo nuovo contesto, infrastrutture esistenti assumono un valore geopolitico rinnovato, ed eventuali nuovi progetti vengono valutati in una nuova logica che a considerazioni economiche somma questioni di affidabilità dei partner internazionali. La rinnovata importanza dei gasdotti sottomarini mediterranei per l'Europa deve infatti affrontare due dinamiche chiave: la crescente instabilità regionale che aggiunge problemi per la sicurezza delle infrastrutture stesse in un momento in cui l'attenzione europea è soprattutto sul fianco orientale e la crescente difficoltà strutturale dei partner tradizionali nel fornire i volumi promessi a causa di crescenti consumi interni. Queste infrastrutture operano infatti oggi in un quadro geopolitico estremamente difficile, dove è cresciuto il numero di attori dotati delle capacità e dell'intenzione di colpirle – e dove la presenza russa trova più vuoti di potere dove insediarsi. Nel quadro della crisi di Hormuz, con la sostanziale chiusura dello stretto ai traffici marittimi e i danni alle infrastrutture di estrazione e liquefazione di gas naturale nel Golfo,[18] l'infrastruttura energetica mediterranea è divenuta se possibile ancor più critica. Dunque, potenziali danni o sabotaggi avrebbero conseguenze enormi per la sicurezza economica del continente europeo.

Accanto ai gasdotti, le interconnessioni elettriche sottomarine stanno acquisendo un peso crescente nella configurazione del sistema energetico mediterraneo. Il Mediterraneo sta effettivamente diventando uno spazio di integrazione elettrica, non solo all'interno dell'UE ma anche tra Europa e Nord Africa, tramite nuovi cavi elettrici che permettono lo scambio bidirezionale di elettricità. Sfruttare l'enorme potenziale rinnovabile della sponda Sud del Mediterraneo permette un nuovo rapporto energetico, rafforzando anche la sicurezza dell'Europa.

L'Italia risulta centrale nelle infrastrutture energetiche del Mediterraneo, sia dal punto di vista delle fonti rinnovabili che dei combustibili fossili. Il cavo sottomarino Elmed collegherà dal 2028 Sicilia e Tunisia permettendo la trasmissione di elettricità, mentre i gasdotti Transmed, che dall'Algeria porta gas naturale attraverso la Tunisia e il Canale di Sicilia, e Greenstream dalla Libia rappresentano fonti cruciali di approvvigionamento energetico. Ad essi si aggiunge il gasdotto TAP che con l'arrivo del gas azero ha permesso una diversificazione strategica delle fonti già prima dell'invasione russa nel febbraio 2022 ed oggi sostanzialmente esistenziale per l'industria europea. Si tratta, esattamente come nel caso dei cavi sottomarini, di infrastrutture critiche per la sicurezza italiana, seppure i flussi di gas dalla Libia rappresentino ormai una quota minima delle importazioni italiane.[19] Al complesso panorama di gasdotti e interconnessioni elettriche mediterranee occorre poi aggiungere i vari impianti off-shore, già installati o in fase di progettazione, per l'energia eolica e solare: anch'essi hanno una componente underwater fondamentale e costituiscono un'ulteriore opzione di diversificazione. Diverse interconnessioni elettriche sono poi in costruzione, dal cavo ELMED tra Sicilia e Tunisia al progetto GREGY tra Egitto e Grecia per connettere le due sponde del Mediterraneo, facilitando l'importazione di energia solare ed eolica dalla sponda meridionale. In questo scenario, il Mediterraneo non sarebbe più soltanto un corridoio di approvvigionamento, ma un vero spazio di co-produzione energetica tra i due continenti.

[18] BBC (7 maggio 2026), Gulf economies face long-term hit from Iran conflict.

[19] Nova.News (8 gennaio 2026), Esclusiva – Libia: forniture di gas all'Italia in calo di quasi il 30 per cento nel 2025.

Il futuro vedrà quindi, con ogni probabilità, una crescita significativa del numero e della densità delle infrastrutture underwater del Mediterraneo, nonché del loro valore per la sicurezza economica europea. Lo sviluppo di capacità rinnovabile nella regione, fondamentale non solo per gli obiettivi climatici dell'Unione Europea ma anche – e soprattutto – per la sua diversificazione energetica, renderà ancora più imperativo mettere in sicurezza il comparto sottomarino mediterraneo.

In definitiva, il Mediterraneo si configura come uno spazio in cui la sicurezza energetica europea si gioca sempre più sul fondo del mare. Le scelte compiute oggi in termini di investimenti, partenariati e protezione delle infrastrutture sottomarine determineranno la capacità dell'Unione Europea di affrontare la transizione energetica senza compromettere la propria resilienza geopolitica. Il paragrafo successivo analizzerà come queste infrastrutture si inseriscano in un quadro più ampio di competizione geopolitica e minacce ibride nel dominio underwater mediterraneo.

5. Competizione geopolitica, difesa, e sicurezza delle infrastrutture underwater

La crescente centralità delle infrastrutture sottomarine nel Mediterraneo ha trasformato il bacino in uno spazio di competizione geopolitica a bassa visibilità ma ad alto impatto strategico. Cavi per le telecomunicazioni, gasdotti, interconnessioni elettriche e, sempre più, impianti energetici offshore rappresentano asset critici per la sicurezza economica europea, ma anche bersagli ideali per forme di pressione indiretta. In questo contesto, il Mediterraneo si configura come uno spazio di "competizione grigia", in cui attori statali e non statali possono operare sotto la soglia del conflitto armato, sabotando le infrastrutture in modo indiretto. Come successo nel Baltico, infatti, l'uso di navi mercantili per danneggiare cavi elettrici rende estremamente difficile l'attribuzione di responsabilità dirette, soprattutto verso attori statali. In caso di un inasprimento delle tensioni con potenze rivali, infatti, le infrastrutture underwater del Mediterraneo sarebbero anch'esse vulnerabili ad atti di sabotaggio e un aumento della loro densità nella regione richiede anche maggiori capacità di sorveglianza e protezione. Gli avvenimenti nel Baltico e nel Mare del Nord, oltre a quelli al largo del Mar Rosso, lanciano un forte avvertimento anche per la regione mediterranea. A complicare però il quadro, rispetto al Baltico dove – con l'esclusione della Russia – tutti gli attori costieri appartengono all'alleanza atlantica e dove sono presenti iniziative NATO di sorveglianza congiunta come Baltic Sentry, il Mediterraneo vede una notevole diversità di attori coinvolti, inclusa la presenza di gruppi armati non statali. Per quanto il livello di minaccia e la frequenza degli eventi appartenenti alla zona grigia resti minore rispetto alla situazione nel Baltico, l'esposizione del fronte sud dell'Europa, troppo spesso messo in secondo piano, non può essere sottovalutata.

Diversi fattori, oltre alla già citata eterogeneità degli attori regionali, rendono infatti il Mediterraneo un'area di vulnerabilità non solo per l'Italia ma per l'Europa. In primis, l'attenzione a livello NATO rimane concentrata sul fronte orientale e settentrionale, dal Baltico all'Europa orientale, come diretta conseguenza del conflitto in Ucraina. Questo ha portato in generale a un calo di priorità della regione del Mediterraneo nonostante i ripetuti richiami dell'Italia.[20]

[20] Euro Focus Adnkronos (dicembre 2025), Nato e fianco Sud: "Non esiste più un 'altrove' nella sicurezza".

Tale riduzione di importanza è anche dovuta al fatto che Mosca stessa abbia concentrato i suoi asset navali nei mari settentrionali e che la presenza russa nel Mediterraneo appaia in diminuzione.[21] Tuttavia, occorre notare come pure in un mare assai circoscritto e altamente presidiato come il Baltico non sia possibile garantire una sorveglianza o una protezione totali. Risulta quindi ancora più difficile vigilare sulle infrastrutture underwater in un mare che è tra le sei e le sette volte più ampio del Baltico e molto più profondo. A ciò si aggiunge l'impossibilità di azioni come la dichiarazione congiunta dei Paesi costieri del Baltico che ha deciso una stretta sul passaggio di navi con registrazioni dubbie e geolocalizzazioni manipolate[22] – entrambe tecniche tipiche della flotta ombra russa. L'enorme diversità di nazioni nel Mediterraneo limita opzioni simili alla sola sponda settentrionale, lasciando quindi un notevole spazio di vulnerabilità. Le recenti azioni francesi contro due petroliere sospettate di far parte della flotta ombra russa[23] hanno segnato un cambio di passo importante anche nello scenario mediterraneo. Nondimeno, l'ampiezza del contesto marittimo e il numero limitato di asset navali a disposizione degli attori europei e della NATO nella regione rendono complesso ipotizzare che questa possa costituire la principale linea d'azione per contrastare dinamiche di natura "grigia", tra le quali la Russia rappresenta uno dei principali attori di riferimento, sia in termini di capacità sia di attivismo operativo.

5.1 La Russia come attore rilevante nel dominio cinetico e fisico

Tra gli attori esterni all'Unione Europea, la Russia emerge come uno dei soggetti più rilevanti nel dominio cinetico e fisico in relazione alle infrastrutture underwater nel Mediterraneo e nei mari adiacenti. Mosca dispone di capacità tecniche avanzate nel dominio sottomarino, sviluppate in ambito militare ma sempre più rilevanti anche per operazioni ibride. Navi specializzate, sottomarini con capacità di intervento sui fondali e unità di supporto consentono alla Russia di operare in modo discreto ma efficace in prossimità di infrastrutture critiche.

Un elemento centrale di questa strategia è l'utilizzo della flotta ombra. Formalmente impiegata per aggirare sanzioni nel settore energetico e marittimo, questa flotta fornisce anche una copertura ideale per attività di osservazione, mappatura e potenziale interferenza. Navi civili o semi-civili, spesso con proprietà opache e bandiere di comodo, possono muoversi lungo rotte sensibili senza attirare l'attenzione che accompagnerebbe unità militari dichiarate. Nel Mediterraneo, questo strumento offre alla Russia una presenza persistente e difficilmente attribuibile.

Un aspetto particolarmente rilevante riguarda la mappatura sistematica delle infrastrutture sottomarine europee. Negli ultimi anni, sono aumentate le evidenze di attività russe finalizzate alla raccolta di dati su tracciati dei cavi, punti di approdo, gasdotti, interconnessioni elettriche e persino impianti eolici e solari offshore.[24]

---

[21] Defense News (10 ottobre 2025), NATO sees Russian naval presence wane in the Mediterranean.

[22] Ministero federale tedesco dei Trasporti (26 gennaio 2026), Open Letter by the Coastal States of the Baltic Sea and the North Sea with Iceland.

[23] USNI News (23 marzo 2026), French Navy Intercepts Suspected Russian Tanker in Western Mediterranean.

[24] BBC (19 novembre 2025), How serious is the Russian spy ship move?

Anche quando questa attività di mappatura non ha necessariamente come obiettivo immediato il sabotaggio, crea le condizioni per un potenziale utilizzo futuro di tali informazioni in scenari di escalation.

Il rischio non si limita alle infrastrutture posate in acque profonde. I punti di approdo dei cavi rappresentano uno dei segmenti più vulnerabili dell'intera catena. Si tratta di infrastrutture spesso situate in prossimità di aree costiere accessibili, talvolta protette in modo insufficiente e soggette a giurisdizioni locali frammentate. In questo contesto, la possibilità che la Russia ricorra ad attori non statali — criminali, reti informali o proxy locali — per compiere atti di sabotaggio mirati non può essere esclusa. Questo approccio consentirebbe a Mosca di massimizzare l'ambiguità e ridurre il rischio di attribuzione diretta e si tratta di una tecnica già usata per sabotaggi a infrastrutture di elettriche o di trasporto terrestri.[25]

I casi di danneggiamenti sospetti a cavi e condotte registrati negli ultimi anni, anche al di fuori del Mediterraneo, hanno contribuito ad accrescere l'attenzione verso potenziali vulnerabilità in questo ambito. Pur non sempre attribuibili con certezza, tali episodi mostrano come il sabotaggio underwater sia uno strumento relativamente a basso costo, ad alto impatto e difficile da prevenire completamente. A profondità relativamente basse sono infatti sufficienti l'ancora di una nave o dispositivi subacquei, mentre la rapida riduzione dei costi dei droni sottomarini e l'altrettanto rapido sviluppo tecnologico li rendono non solo più pericolosi, ma anche alla portata di sempre più attori.[26] Nel Mediterraneo, dove la densità infrastrutturale è elevata e la sorveglianza limitata, questo tipo di minaccia assume una rilevanza particolare: attacchi mirati nei colli di bottiglia dove si trovano molteplici cavi a breve distanza potrebbero avere conseguenze assai significative.

5.2 La Cina come attore geoeconomico e informativo

A differenza della Russia, la Cina non si distingue principalmente per una presenza di natura cinetica nel contesto delle infrastrutture sottomarine nel Mediterraneo. Il suo approccio appare piuttosto orientato a dimensioni geoeconomiche e informative, inserite in una strategia di lungo periodo finalizzata a rafforzare il proprio ruolo nelle catene globali del valore e nei flussi di dati. Nel settore dei cavi sottomarini, aziende cinesi sono sempre più presenti come fornitori di componenti, sistemi di posa e, in alcuni casi, come costruttori chiavi in mano. Questa presenza solleva interrogativi non tanto sulla continuità fisica delle infrastrutture, quanto sulla sicurezza delle informazioni che transitano attraverso di esse. La possibilità di inserire backdoor hardware o software nei cavi e nei sistemi di gestione rappresenta una preoccupazione crescente per le autorità europee, soprattutto in assenza di piena trasparenza sui processi produttivi e sugli standard di sicurezza.

Dal punto di vista geoeconomico, la Cina esercita poi una significativa forma di influenza strutturale controllando segmenti critici della catena del valore: dalla produzione di fibre e componenti elettronici alla capacità industriale di posa e manutenzione. Nel Mediterraneo, dove molti progetti coinvolgono Paesi partner non UE, le imprese cinesi possono proporsi come fornitori competitivi, rafforzando la dipendenza tecnologica europea nel medio-lungo periodo.

[25] EURACTIV (30 marzo 2026), How money drives Russia's sabotage campaign in Europe.

[26] The Guardian (28 novembre 2025), 'A step-change': tech firms battle for undersea dominance with submarine drones.

Questa strategia non mira necessariamente a interrompere i flussi, ma a osservarli, condizionarli e, potenzialmente, sfruttarli a fini di intelligence. In un'economia sempre più data-driven, il controllo — anche parziale — delle infrastrutture che trasportano dati assume un valore strategico paragonabile a quello delle risorse energetiche nel secolo scorso.

Pechino, tuttavia, possiede capacità assai elevate anche nel campo cinetico per quanto riguarda sottomarini e droni. Lo scorso anno la Cina ha svelato appunto un nuovo strumento per tranciare cavi sottomarini fino a una profondità di 4.000 metri[27] e integrabile sia in sottomarini che droni. Naturalmente lo scenario più probabile di un suo utilizzo resta quello di azioni a danno di Taiwan, ma la profondità media del Mediterraneo di soli 1.500 metri renderebbe pochissime aree al sicuro.

5.3 La Turchia come attore complesso nel contesto regionale

La Turchia occupa una posizione peculiare nel panorama mediterraneo. Pur non configurandosi come un attore orientato a incidere direttamente sulle infrastrutture underwater europee, presenta elementi di complessità che possono influire sulle dinamiche legate alla posa, alla manutenzione e alla riparazione di cavi e condotte sottomarine. Il suo ruolo si inserisce in un quadro più ampio di interessi strategici e di articolazione delle relazioni nella regione.

Le dispute con Grecia, Cipro e Libia sulle zone economiche esclusive (ZEE) e le pretese di sovranità su ampie porzioni del Mediterraneo orientale hanno già dimostrato la capacità di Ankara di bloccare o rallentare progetti infrastrutturali attraverso strumenti legali, amministrativi o con l'uso della propria flotta. In questo senso, la Turchia utilizza la leva geografica e giuridica più che quella cinetica, creando incertezza e aumentando i costi politici ed economici delle infrastrutture.

Per l'Unione Europea, questo comportamento non si traduce in una prospettiva di sabotaggio, quanto piuttosto in un elemento strutturale che può incidere sulla pianificazione di lungo periodo e sulla resilienza operativa delle reti. La necessità di ottenere autorizzazioni, prevenire possibili tensioni e gestire relazioni politiche articolate contribuisce a rendere il Mediterraneo orientale uno degli spazi più delicati per il dominio underwater europeo.

5.4 Il Mediterraneo come spazio di competizione grigia

Nel loro insieme, queste dinamiche mostrano come il Mediterraneo sia diventato uno spazio privilegiato di competizione grigia. Le infrastrutture underwater non sono solo obiettivi passivi, ma strumenti attraverso cui gli attori possono esercitare pressione, raccogliere informazioni o segnalare capacità senza ricorrere a conflitti aperti.

Per l'Europa, la sfida principale è riconoscere che la sicurezza delle infrastrutture sottomarine non può essere garantita esclusivamente con misure tecniche o nazionali. Essa richiede una comprensione integrata delle minacce, che distingua tra rischi cinetici, geoeconomici e politico-giuridici, e una capacità di risposta coordinata a livello europeo. Il paragrafo successivo analizzerà come queste dinamiche si

[27] South China Morning Post (22 marzo 2025), China unveils a powerful deep-sea cable cutter that could reset the world order.

traducano in implicazioni concrete per l'Unione Europea e quali opzioni strategiche siano disponibili per rafforzare la resilienza del dominio underwater nel Mediterraneo.

6. Implicazioni per l'Unione Europea e opzioni strategiche

Le dinamiche analizzate mostrano con chiarezza come il dominio underwater nel Mediterraneo non possa più essere considerato una dimensione strettamente tecnica. Per l'Unione Europea, esso rappresenta ormai una componente essenziale della propria sicurezza economica, digitale ed energetica. La crescente esposizione delle infrastrutture sottomarine a rischi geopolitici, ibridi e cinetici impone una riflessione strategica che vada oltre la logica della prevenzione puntuale e richiede un approccio orientato alla resilienza sistemica.

Un primo aspetto riguarda la sovranità infrastrutturale. Pur ospitando una parte rilevante delle infrastrutture critiche underwater, l'Europa esercita un controllo limitato su molti aspetti chiave: proprietà degli asset, catene di fornitura, tecnologie utilizzate e capacità operative di intervento. Questa asimmetria riduce la capacità dell'UE di influenzare decisioni strategiche che hanno impatti diretti sulla propria sicurezza. La sovranità infrastrutturale non implica necessariamente il controllo pubblico diretto, ma la capacità da parte delle istituzioni statali e comunitarie di orientare, monitorare e, se necessario, intervenire su asset essenziali per il funzionamento dell'economia europea.

I limiti nelle capacità di riparazione e manutenzione rappresentano una delle vulnerabilità più immediate. La disponibilità di navi specializzate, equipaggi qualificati e tecnologie avanzate è concentrata in un numero ristretto di operatori, non sempre europei. In uno scenario di crisi o tensioni geopolitiche, l'accesso a queste capacità potrebbe essere ritardato o condizionato, amplificando gli effetti di un danneggiamento. Nel Mediterraneo, dove la densità infrastrutturale è elevata e le alternative di ridirezionamento limitate, anche pochi attacchi mirati potrebbero avere conseguenze economiche significative.

A ciò si aggiungono i limiti nelle capacità di sorveglianza e monitoraggio. Il dominio underwater è, per sua natura, uno spazio opaco, in cui l'attribuzione degli eventi è complessa e la consapevolezza situazionale incompleta. L'Europa dispone di strumenti frammentati per il monitoraggio dei fondali, spesso distribuiti tra agenzie civili, militari e operatori privati. L'assenza di un quadro integrato di sorveglianza rende difficile individuare attività sospette, prevenire interferenze e rispondere in modo tempestivo a incidenti o sabotaggi.

Queste vulnerabilità diventano particolarmente critiche alla luce della crescente probabilità di atti di sabotaggio o interferenze deliberate. Il dominio underwater offre opportunità di azione sotto la soglia del conflitto armato, con elevata ambiguità e costi relativamente contenuti per l'attore ostile. Per l'Unione Europea, il rischio non risiede solo nella frequenza di tali eventi, ma nella loro potenziale combinazione con altre crisi, in una possibile campagna coordinata che unisca ai sabotaggi fisici anche attacchi cyber.

In questo contesto, rafforzare la resilienza diventa l'obiettivo strategico centrale. Resilienza significa accettare che non tutte le minacce possono essere prevenute e che alcune interruzioni sono inevitabili. La priorità si sposta quindi sulla capacità di assorbire l'impatto, ripristinare rapidamente le funzionalità e mantenere la fiducia nel sistema. Ciò implica investire in ridondanza infrastrutturale, diversificazione delle rotte, capacità di rerouting dei flussi e piani di continuità operativa condivisi tra pubblico e privato. Fondamentale prerequisito perché questo si sviluppi anche nel settore risulta il rafforzamento della consapevolezza.

Un aspetto spesso trascurato riguarda la pianificazione di eventi ad alto impatto e bassa probabilità. Sabotaggi multipli, attacchi coordinati o danneggiamenti in aree chiave del Mediterraneo potrebbero generare effetti sistemici sproporzionati rispetto alla probabilità dell'evento.

La gestione di questi scenari richiede esercitazioni, simulazioni e meccanismi decisionali rapidi, che superino la frammentazione istituzionale attuale. In assenza di una pianificazione preventiva, il rischio è che la risposta europea sia lenta e disorganizzata, con diversi attori che si trovino impreparati.

Le opzioni strategiche per l'Unione Europea si articolano su più livelli. Sul piano industriale, è necessario rafforzare le capacità europee nella costruzione, posa e manutenzione delle infrastrutture underwater, riducendo la dipendenza da fornitori esterni. Sul piano regolatorio, occorre riconoscere formalmente queste infrastrutture come asset di sicurezza economica, introducendo requisiti di trasparenza, sicurezza e resilienza lungo l'intera catena del valore. Le misure di rafforzamento dei cavi previste da Connecting Europe Facility[28] vanno sicuramente nella direzione giusta, ma la capacità di spesa rimane assai ridotta rispetto a quella delle Big Tech. Sul piano della sicurezza, infine, serve una maggiore integrazione tra strumenti civili e militari, a livello europeo e in coordinamento con partner come la NATO.

In ultima analisi, il Mediterraneo impone all'Unione Europea di confrontarsi con una realtà scomoda: comprendere che la propria prosperità dipende da infrastrutture delicate, invisibili e difficili da proteggere. Ignorare questa dimensione significa accettare un livello crescente di esposizione strategica. Affrontarla, invece, richiede un cambio di paradigma, in cui il dominio underwater venga integrato a pieno titolo nella strategia europea di sicurezza economica e geopolitica.

7. Conclusioni

Infrastrutture apparentemente invisibili come quelle del dominio underwater sono ormai diventate elementi centrali della sicurezza economica e geopolitica dell'Unione Europea. Cavi sottomarini per le telecomunicazioni e infrastrutture energetiche non rappresentano più semplici asset tecnici, ma costituiscono l'ossatura materiale su cui si reggono la digitalizzazione delle economie globali, l'integrazione dei mercati e la stabilità del sistema energetico.

Il bacino del Mediterraneo mantiene una centralità nel sistema globale dei cavi sottomarini principalmente a causa dei diversi chokepoint digitali nella direttrice Europa-Asia. Con la trasformazione dei modelli proprietari e industriali, largamente rappresentata dall'ascesa dei Big Tech, questo sistema ha aumentato capacità ed efficienza, ma ha anche eroso in modo significativo il controllo strategico europeo. Questa dinamica è ulteriormente complicata da vulnerabilità strutturali legate alla concentrazione delle rotte, alla frammentazione decisionale e ai limiti nelle capacità operative europee.

Nel settore energetico, ai gasdotti e alle interconnessioni elettriche sottomarine si uniscono le fonti rinnovabili offshore. In questo contesto il Mediterraneo costituisce a tutti gli effetti uno snodo centrale della sicurezza energetica e della transizione. Tuttavia, la stessa interdipendenza che consente diversificazione e integrazione sta generando nuove esposizioni, in particolare in un contesto geopolitico caratterizzato da instabilità regionale e competizione strategica.

[28] Industrial Cyber (10 febbraio 2026), EU allocates €347 million to boost Europe's submarine cables under CEF Digital update, releases Cable Security Toolbox.

Le tensioni tra potenze hanno reso il dominio underwater mediterraneo uno spazio sempre più esposto a forme di competizione grigia e a pressioni differenziate, di natura fisica, geoeconomica, informativa e politico-giuridica.

In questo quadro, la Russia rappresenta il principale elemento di criticità sul piano fisico e cinetico, in ragione delle capacità tecniche disponibili e della possibilità di azioni indirette o difficilmente attribuibili. La Cina assume rilievo soprattutto sul piano geoeconomico e informativo, per il ruolo esercitato in segmenti sensibili delle catene del valore e delle infrastrutture di trasmissione dei dati. La Turchia, infine, si configura come attore regionale in grado di incidere sulla realizzazione e sull'operatività delle infrastrutture attraverso leve politico-giuridiche e dinamiche di contesto nel Mediterraneo orientale.

Nel loro insieme, questi elementi delineano il Mediterraneo come una frontiera critica della sicurezza economica europea. La crescente dipendenza da infrastrutture sottomarine fragili, difficili da sorvegliare e potenzialmente esposte ad atti ostili rende il dominio underwater una delle dimensioni meno visibili ma più decisive della competizione geopolitica contemporanea. Comprendere e concettualizzare questa trasformazione è un passaggio necessario per interpretare le sfide di lungo periodo che attendono l'Europa in un sistema internazionale sempre più instabile e interconnesso.

Capitolo 2.

Porti, shipping e infrastrutture underwater nel Mediterraneo

1. Premessa

Le infrastrutture underwater rappresentano una componente essenziale, ma spesso invisibile, della connettività digitale ed energetica globale. Cavi sottomarini, sistemi di monitoraggio e infrastrutture di supporto costituiscono asset critici. La loro operatività dipende non solo dalle tecnologie impiegate offshore, ma soprattutto dalla disponibilità di infrastrutture a terra in grado di supportarne l'intero ciclo di vita. In questo scenario, porti e shipping assumono un ruolo strutturale come basi operative per la posa, la manutenzione e la gestione delle infrastrutture sottomarine, con particolare rilevanza nel Mediterraneo e nel sistema portuale italiano.

Il capitolo propone una lettura integrata tra rotte, porti e fondali, mostrando come la continuità dei traffici dipenda sempre più anche dalla resilienza delle infrastrutture sottomarine. L'obiettivo è chiarire perché capacità portuali, flotte specializzate e filiera industriale siano oggi leve decisive per presidiare dati ed energia nel Mediterraneo.

È da ribadire che lo sviluppo delle reti sottomarine non riguarda esclusivamente la posa e la gestione dei cavi o delle connessioni energetiche, ma coinvolge una filiera industriale complessa e articolata. Questa comprende la progettazione e produzione dei sistemi di cavo, la realizzazione delle componenti tecnologiche, la disponibilità di navi specializzate per le operazioni di posa e manutenzione, nonché il supporto della cantieristica navale e delle infrastrutture portuali.

Si tratta di un ecosistema industriale in cui interagiscono operatori delle telecomunicazioni, imprese hi-tech, società energetiche e grandi piattaforme digitali globali, delineando un settore ad alto contenuto tecnologico e strategico per la competitività economica e la sicurezza delle reti.

2. L'evoluzione strategica dell'industria marittima e underwater

L'industria marittima è sempre più influenzata da fattori economici, strategici e tecnologici che incidono sui flussi di import–export, sulle rotte marittime, sui porti e sullo shipping. In questo quadro, le dinamiche geopolitiche, come evidenziato nel capitolo precedente, non influenzano soltanto la dimensione "di

superficie" del sistema marittimo, ma incidono in modo crescente anche sulla dimensione underwater, aumentando la pressione sulle infrastrutture critiche e sui porti chiamati a garantirne la continuità operativa.

Questo insieme di fattori si traduce, a livello operativo, in variazioni dei tempi, dei costi e dell'affidabilità delle rotte marittime, con effetti misurabili su noli, deviazioni e congestioni portuali. Considerato che circa il 90% del commercio mondiale viaggia via mare, ogni shock geopolitico o regolatorio si riflette immediatamente sul trasporto marittimo e, a cascata, sull'operatività e sulla centralità dei porti.

Accanto alla dimensione di superficie, assume un rilievo crescente la dimensione underwater. Si contano oltre 590 cavi sottomarini operativi o in costruzione per oltre 1.700 punti di approdo (landing)[29] (attivi o in costruzione) nel mondo[30], in una rete globale capace di generare 10 trilioni di dollari al giorno di transazioni finanziarie[31].

Essi supportano finanza, commercio digitale, comunicazioni e sicurezza, rappresentando infrastrutture critiche ad elevata rilevanza sistemica e al tempo stesso caratterizzate da una marcata vulnerabilità. La loro esposizione a rischi fisici, geopolitici e operativi li colloca sempre più al centro della competizione internazionale, in funzionale collegamento con le rotte marittime, gli stretti (chokepoint) strategici e le aree di tensione.

In questo contesto, la sovranità digitale, intesa come controllo statale su dati, infrastrutture tecnologiche e reti di comunicazione, si è affermata come una priorità della geopolitica globale. La competizione tra grandi potenze per la supremazia digitale si traduce in una crescente attenzione alla protezione, alla manutenzione e alla continuità operativa delle infrastrutture sottomarine. Il mare non è quindi più soltanto uno spazio di transito delle merci, ma un sistema strategico integrato, nel quale superficie e fondali si sovrappongono e nel quale shipping, porti, energia, dati e sicurezza risultano sempre più interdipendenti.

Le ragioni dello sviluppo dell'underwater e la crescente attenzione verso il settore risiedono nell'aumento degli investimenti in tecnologie di big data, nella diffusione delle comunicazioni e nel supporto tecnologico all'industria e ai servizi, insieme alla presenza di operatori navali tecnologicamente avanzati e di investitori di primario standing.

Accanto alla dimensione economica e geopolitica, le infrastrutture sottomarine rappresentano anche una delle principali frontiere tecnologiche dell'economia marittima contemporanea. L'evoluzione dei sistemi di trasmissione dati ad altissima capacità, l'integrazione con reti energetiche offshore e lo sviluppo di nuove tecnologie di monitoraggio e manutenzione subacquea stanno trasformando l'underwater in un settore altamente innovativo. In quest'ambito, l'interazione tra industria digitale, operatori delle telecomunicazioni e settore marittimo contribuisce a ridefinire il ruolo degli spazi marini come piattaforme tecnologiche strategiche per la connettività globale e per la sicurezza delle infrastrutture critiche.

---

[29] I punti di approdo (landing point / landing) sono i luoghi fisici sulla costa in cui un cavo sottomarino emerge dal mare e si collega alle infrastrutture terrestri di telecomunicazione.

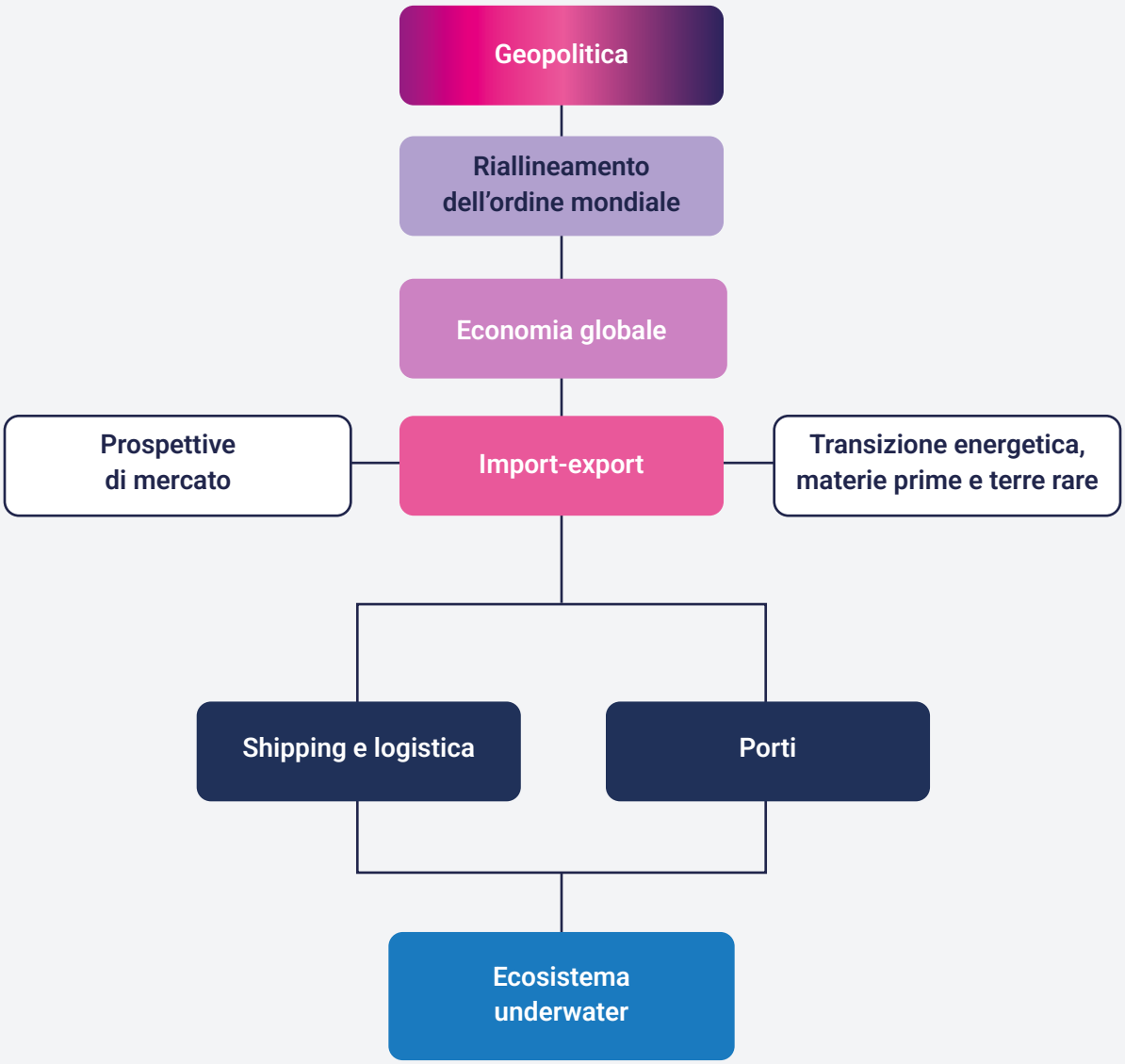
[30] TeleGeography (2025), Submarine Cable Map 2025 [https://submarine-cable-map-2025.telegeography.com/].

[31] Sparkle (marzo 2025), I cavi sottomarini e la rilevanza strategica delle infrastrutture critiche di connettività presso MIMIT-Scuola Superiore di Specializzazione in TLC.

La capacità di creare, attrarre e gestire la filiera underwater si misura nella possibilità concreta di realizzare e presidiare le infrastrutture lungo l'intero ciclo di vita, dalla posa alla manutenzione fino alla riparazione in caso di guasto. In tale prospettiva, assumono un ruolo cruciale la disponibilità di mezzi e competenze specializzate, la rapidità di intervento e il presidio stabile dei punti di approdo dei cavi (landing point). Essi, infatti, sono spesso localizzati in prossimità delle aree portuali, che fungono da supporto logistico e operativo per le attività di posa e manutenzione.

Figura 1

Industria marittima di superficie e underwater: i fattori determinanti



Fonte: SRM su Drewry e OsserMare

3. Densità dei traffici marittimi nel Mediterraneo e implicazioni operative per l'underwater

Al 2024 i flussi commerciali della regione euro-mediterranea[32] rappresentano una quota rilevante dell'economia mondiale, pari al 31% del trade globale, per un valore di circa 7.600 miliardi di dollari.[33] All'interno della regione, l'Unione Europea rimane il principale polo di riferimento; tuttavia, l'integrazione commerciale con gli altri Paesi del bacino mediterraneo ha assunto un rilievo crescente, in particolare con la Turchia, i Balcani occidentali e le economie del Nord Africa. I flussi intra-EuroMed superano complessivamente i 4.400 miliardi di dollari, evidenziando come oltre il 60% degli scambi della regione avvengano tra Paesi appartenenti allo stesso spazio euro-mediterraneo.

Questa integrazione non riguarda esclusivamente il commercio di merci, ma si estende progressivamente alla catena del valore, come dimostrano i processi di integrazione produttiva che coinvolgono il Nord Africa, la Turchia e l'East Med. In particolare, l'area di Tanger Med in Marocco si è affermata come hub manifatturiero integrato per l'automotive e l'assemblaggio industriale destinati ai mercati europei; la Turchia rappresenta uno dei sistemi manifatturieri più dinamici della regione, con una forte specializzazione nei settori farmaceutico, elettromeccanico e automotive, mentre in Egitto, la presenza, ad esempio, del parco industriale TEDA[34] nella Suez Canal Zone, che ospita oltre 180 subfornitori, riflette il rafforzamento dei legami di filiera lungo l'asse euro-mediterraneo.

Tali dinamiche evidenziano uno spostamento strutturale degli scambi verso produzioni a maggiore valore aggiunto e una crescente integrazione produttiva regionale, che si accompagna alla crescita del commercio digitale che è prevalentemente underwater.

In questo contesto, il trasporto marittimo rappresenta il canale essenziale attraverso cui si muovono oltre 500 miliardi di dollari di scambi regionali, con circa il 20% dei volumi concentrati nell'area strettamente legata al bacino mediterraneo.[35]

I porti stanno, dunque, assumendo una rilevanza crescente non solo come punti di transito delle merci, ma come hub multifunzionali capaci di integrare le attività di import-export con processi di sviluppo territoriale e di appoggio alle catene logistiche supportati, nello svolgimento delle loro attività, dalle telecomunicazioni via cavo. Tale evoluzione si inserisce in un contesto in cui il trasporto marittimo rappresenta un elemento fondamentale dell'economia mondiale.

Il traffico containerizzato, che assorbe circa il 66% del valore del commercio mondiale, costituisce l'asse portante di tali flussi e si sviluppa lungo rotte globali ben definite. In particolare, la rotta Asia–Europa, che attraversa il Mediterraneo, ha movimentato nel 2024 circa 24 milioni di TEU, confermandosi come una delle principali direttrici del commercio globale e come un fattore di slancio per i porti del bacino.

---

[32] UE27, Albania, Algeria, Egitto, Gibilterra, Giordania, Israele, Libano, Libia, Montenegro, Marocco, Siria, Tunisia, Turchia.

[33] Così come aveva evidenziato anche l'OCSE in "Regional Integration in the Union for the Mediterranean 2025" su dati 2023.

[34] XINHUANET (28 giugno 2025), China's TEDA transforms Egypt's desert into blooming industrial hub.

[35] Albania, Algeria, Cipro, Croazia, Egitto, Francia, Gibilterra, Giordania, Grecia, Israele, Italia, Libano, Libia, Malta, Montenegro, Morocco, Siria, Slovenia, Spagna, Tunisia, Turchia.

Figura 2

Export euro-mediterraneo: la rilevanza del settore marittimo

EXPORT TOTALE

EuroMed

$ 7.600 mld

31%

dell'export mondiale



Intra EuroMed

$ 4.444 mld

66%

dell'export EuroMed

EXPORT MARITTIMO

EuroMed

$ 506 mld

11%

dell'export intra EuroMed

sono scambiati via mare

Med

$ 94 mld

~20%

dell'export marittimo intra EuroMed

Un quinto dei traffici marittimi si concentra nell'area strettamente connessa al bacino del **Mediterraneo**.



Fonte: SRM su Drewry e OsserMare. Dati al 2024

Figura 3

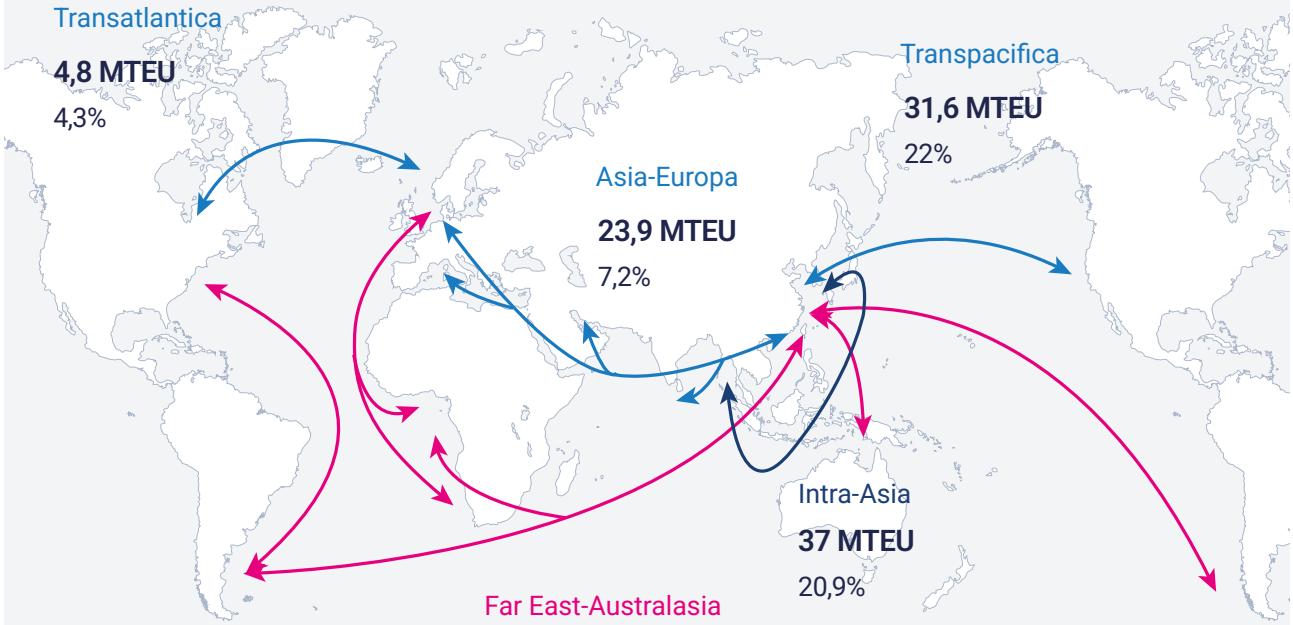
Container Market. Principali rotte commerciali 2016-2024

248 milioni di TEU

Trasporto marittimo container globale *



* Esclusi transhipment e container vuoti.



Fonte: SRM e OsserMare su Drewry. Dati in milioni di TEU al 2024 e variazioni % 2024 su 2016.

Accanto alle grandi rotte intercontinentali, il Mediterraneo si caratterizza per una componente strutturale di traffici intra-mediterranei, che contribuiscono a definire il bacino non solo come corridoio di transito Est–Ovest, ma come uno spazio economico regionale fortemente interconnesso e pertanto data-connected.

In un bacino caratterizzato da una crescente densità di traffici commerciali, flussi energetici e integrazione produttiva, la dimensione sottomarina assume una valenza infrastrutturale autonoma. I cavi sottomarini, che trasportano la quasi totalità del traffico dati intercontinentale, presentano vincoli operativi specifici in termini di posa, manutenzione, riparazione e protezione, che richiedono la disponibilità di infrastrutture portuali adeguate e di capacità operative specializzate.

La presenza di traffici regolari, sia intercontinentali sia intra-mediterranei, aumenta la probabilità di interferenze fisiche e la necessità di interventi tempestivi sulle infrastrutture sottomarine. In tale contesto, i porti rappresentano le basi operative indispensabili per l'underwater, ospitando spesso i landing point, le attività di stoccaggio dei cavi, le flotte specializzate per la posa e la riparazione, nonché le competenze tecniche necessarie a garantire continuità e resilienza alle reti digitali ed energetiche.

La capacità di un sistema portuale di integrare funzioni logistiche, industriali e underwater diventa pertanto una variabile critica di competitività e sicurezza infrastrutturale.

In questo scenario, il sistema portuale e marittimo assume un ruolo di particolare rilievo come elemento abilitante dello sviluppo delle infrastrutture dei fondali. I porti rappresentano infatti nodi logistici e operativi fondamentali per le attività di installazione, manutenzione e gestione delle reti sottomarine, ospitando infrastrutture di supporto, flotte specializzate e servizi tecnici avanzati. La portualità, insieme allo shipping e alla cantieristica navale, diventa quindi un catalizzatore dello sviluppo delle reti sottomarine, contribuendo alla costruzione di una filiera industriale integrata che collega dimensione marittima, infrastrutture digitali ed energia.

Nei bacini ad alta densità come il Mediterraneo, l'integrazione descritta rappresenta un fattore determinante non solo per l'efficienza dei traffici di superficie, ma per la stabilità complessiva delle catene del valore e della connettività digitale regionale, confermando il ruolo dei porti come catalizzatori iniziali e finali delle infrastrutture sottomarine.

La rilevanza dell'underwater va dunque letta anche alla luce dello sviluppo e della capacità operativa dei sistemi portuali.

Come mostra la **Figura 4**, nel 2025, i flussi containerizzati intra-Med hanno mostrato una dinamica complessivamente positiva rispetto al 2024. Nel segmento dei traffici in uscita, la Turchia si conferma il principale mercato regionale, con oltre 1 milione di TEU (+0,7%), seguita dall'Egitto (502 mila TEU, +12%) e dalla Spagna (467 mila TEU, circa +20%), mentre l'Italia registra volumi più stabili, intorno a 372 mila TEU. Analogamente, anche i flussi in entrata evidenziano una struttura articolata, con la Turchia in posizione di leadership, seguita da Israele, Marocco e Italia.

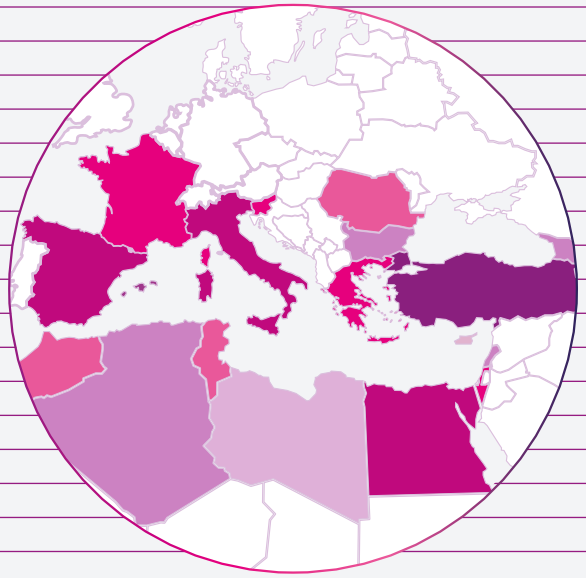
Sebbene tali volumi rappresentino una quota minoritaria rispetto ai throughput complessivi dei singoli sistemi portuali – pari a circa l'11% per la Turchia e al 5% per Italia e Spagna mediterranea – essi assumono un significato strategico rilevante in termini di continuità operativa e integrazione regionale. I traffici intra-Med generano infatti flussi regolari e ricorrenti, caratterizzati da prossimità geografica e frequenza elevata, che contribuiscono a stabilizzare l'utilizzo delle infrastrutture portuali e a rafforzare le interdipendenze economiche tra le sponde del bacino.

Figura 4

Traffico container tra i paesi del Mediterraneo

Flussi export intra-mediterranei

	TEU	Crescita %
Turchia	1.035.846	0,7
Egitto	502.344	12,0
Spagna	467.544	19,3
Italia	371.965	5,7
Francia	196.299	-5,6
Grecia	179.134	13,7
Slovenia	109.454	-0,1
Israele	96.861	-4,2
Marocco	65.084	3,3
Tunisia	53.364	68,0
Romania	46.566	-8,3
Algeria	22.456	25,5
Libano	21.091	12,5
Bulgaria	18.525	-2,0
Georgia	15.160	-16,4
Libia	14.467	78,5
Cipro	6.240	3,1



Flussi import intra-mediterranei

	TEU	Crescita %
Turchia	486.907	2,9
Israele	387.354	2,3
Marocco	369.461	10,9
Algeria	289.364	8,5
Spagna	266.491	2,1
Italia	257.906	5,1
Egitto	211.112	6,3
Francia	202.537	6,3
Grecia	165.036	-3,4
Libia	140.744	8,6
Libano	104.670	36,1
Tunisia	103.840	31,4
Cipro	99.758	21,6
Slovenia	70.932	-6,3
Romania	28.784	-5,3
Georgia	22.543	-13,8
Bulgaria	14.961	23,4



Fonte: SRM e OsserMare su CTS

Passando all'analisi dei principali operatori di linea attivi nell'Intra-Med (**Tabella 1** e **Figura 5**), emerge un quadro caratterizzato da una marcata concentrazione. I Main Line Operator (MLOs) detengono complessivamente circa il 70% della quota di mercato. Tale configurazione si accompagna a una riduzione della capacità complessiva impiegata, stimata in circa 537 mila TEU, dovuta alla riallocazione delle navi su altre rotte e a un maggiore utilizzo di imbarcazioni di dimensioni più contenute.

Nel dettaglio, MSC mantiene la leadership nell'Intra-Med in termini di capacità impiegata, con una quota di mercato superiore al 26,6%, rafforzata dall'introduzione di nuovi servizi regionali, tra cui i circuiti intra-Adriatico Hadria ed East to West Med. CMA-CGM si colloca al secondo posto, registrando la crescita

Tabella 1

Scenario competitivo Intra-Med: i principali carrier Capacità container 2024-2025

Intra-Med Capacity dei grandi operatori

	dic-24	dic-25
MSC	139.105	142.954
CMA-CGM Group	98.832	124.284
Maersk Group	49.508	56.996
Arkas Group	51.430	29.769
X-Press Feeders	18.518	25.243
COSCO Group	28.075	24.808
Unifeeder Group	23.728	23.572
Evergreen	11.723	11.950
Akkon Lines	14.239	11.463
Global Feeder Shipping	5.829	8.168
Tarros	7.147	6.668
ONE	4.986	6.639
ZIM	9.153	6.482
Boluda Lines	5.303	5.203
Borchard Lines	4.653	4.944
CNAN	4.756	4.756
Medship Feeders	1.914	3.916
JSV Logistic	2.301	3.335
Medkon Lines	4.421	2.995
Altri	65.980	32.772
Totale	551.601	536.917

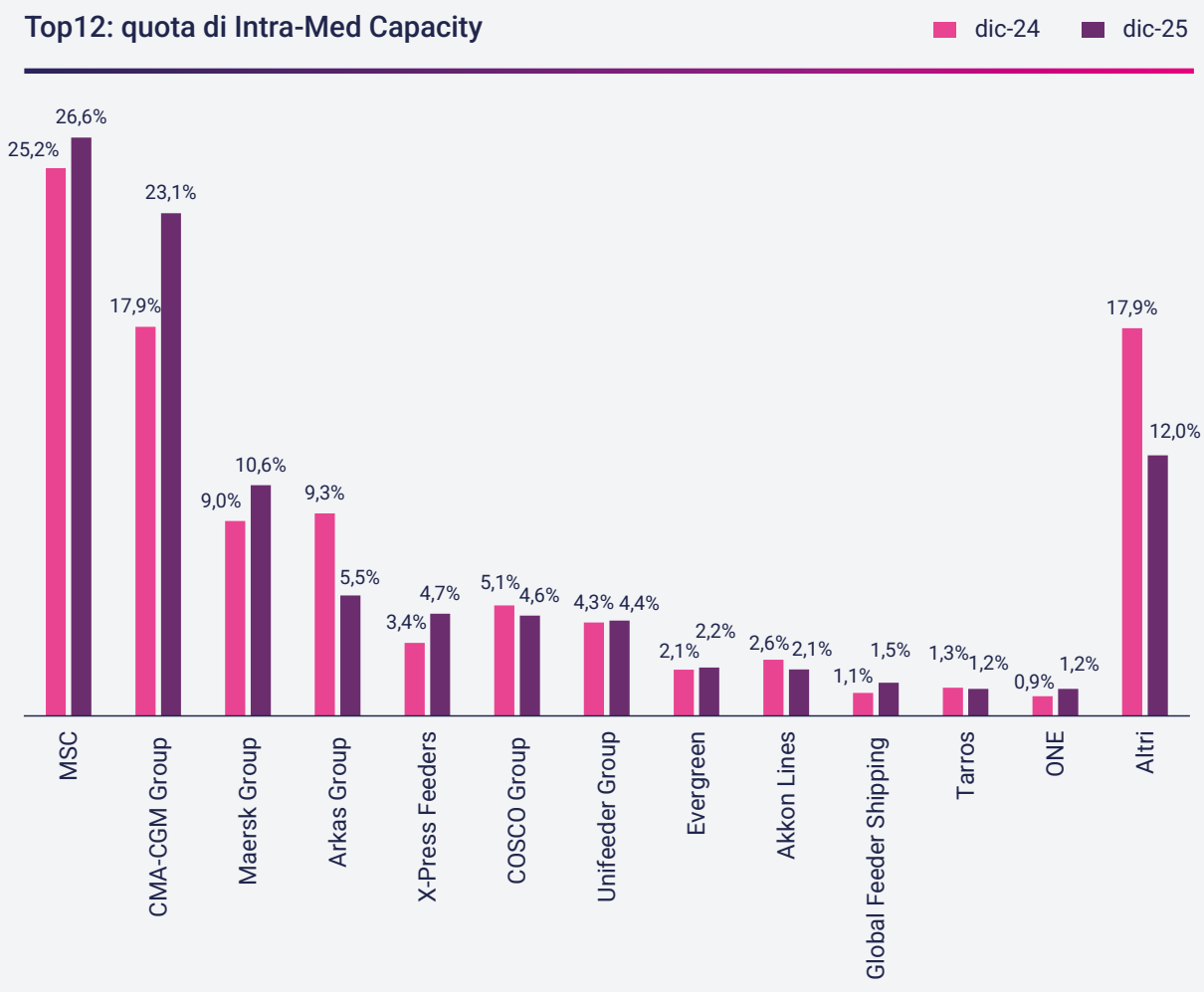
Fonte: SRM e OsserMare su Alphaliner. Dati in migliaia di TEU.

più significativa (+17,9% di capacità, con 18 navi aggiuntive), mentre Maersk entra nella top 3 con una quota di mercato del 10,6%, sostenuta dall'introduzione dei nuovi shuttle Gemini. Parallelamente, alcuni operatori regionali hanno ridimensionato la propria presenza: Arkas ha riallocato parte della flotta su altre direttrici, mentre Hapag-Lloyd si è ritirata dai traffici Intra-Med.

Nel segmento del feederaggio, X-Press Feeders entra nella top 5 con una quota del 4,7%, mentre il gruppo COSCO registra una riduzione della capacità. Tra gli operatori presenti figura anche l'italiana Tarros. La spinta a servizi di linea sempre più frequenti attraverso grandi operatori che impiegano tecnologie anche di comunicazione sempre più sofisticate spiega la spinta anche dell'underwater.

Figura 5

Scenario competitivo Intra-Med: i principali carrier
Quota di mercato 2024-2025

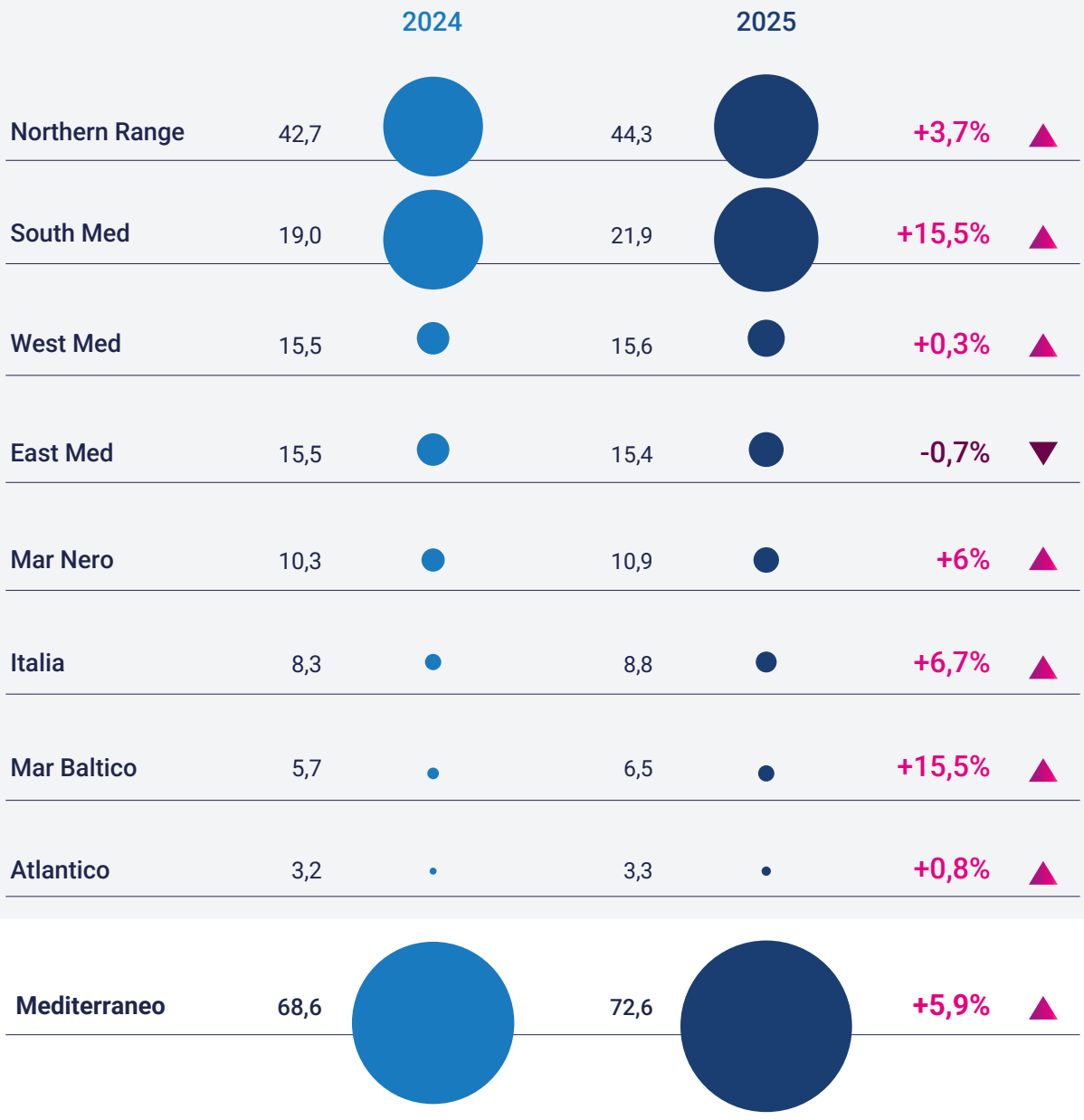


Fonte: SRM e OsserMare su Alphaliner

Nel complesso, il Mediterraneo concentra circa il 12-20% del traffico mercantile globale, confermandosi come uno dei bacini più integrati nei network logistici internazionali. Nonostante le tensioni geopolitiche, nel 2025 i principali porti container mediterranei hanno registrato una crescita complessiva del 5,9% su base annua, superando i 72 milioni di TEU movimentati.

Figura 6

Performance dei porti container euro-mediterranei 2025-2024. Porti con movimentazione superiore a 700mila TEU

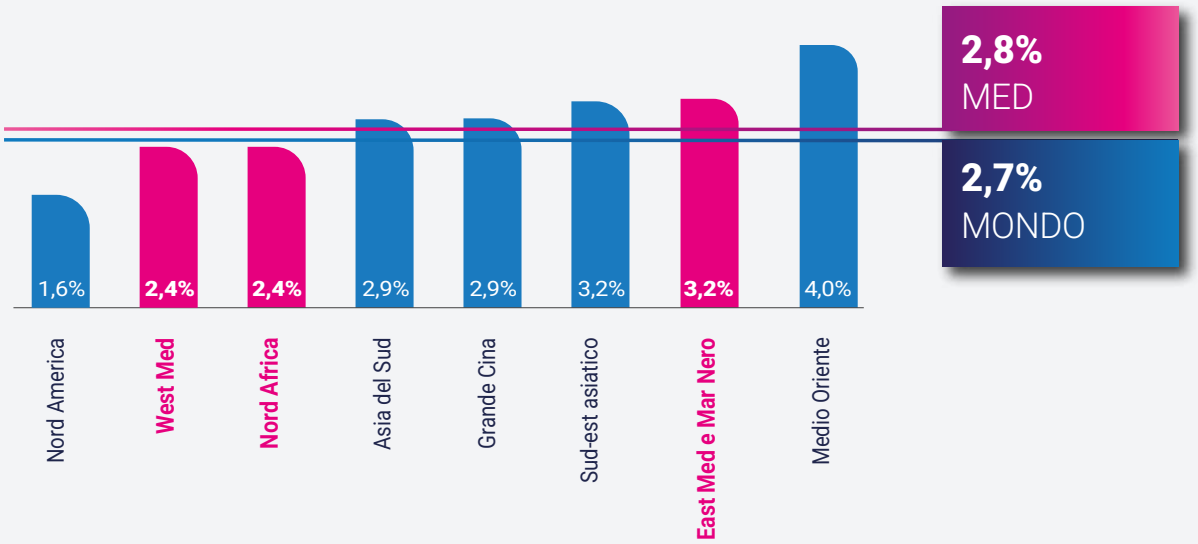


Fonte: SRM su Autorità Portuali e OsserMare. Dati in milioni di TEU e var.% 2025/2024

Le prospettive di medio periodo indicano un ulteriore rafforzamento di tali dinamiche. Le previsioni al 2030 stimano per il Mediterraneo un tasso di crescita medio annuo (CAGR) pari al 2,8%, superiore alla media mondiale, attestata al 2,7%. Tale differenziale riflette l'evoluzione della domanda commerciale, gli investimenti infrastrutturali in corso in numerosi scali del bacino confermando la natura strutturale della crescita dei traffici mediterranei.

Figura 7

Crescita media annua (CAGR) 2025-2030 del traffico container



Fonte: SRM e OsserMare su Drewry (aggiornamento ad aprile 2026)

Le tendenze rilevate indicano che il bacino non svolge soltanto la funzione di transito lungo le rotte Est–Ovest, ma costituisce una rete commerciale interna articolata, che rafforza il ruolo del Mediterraneo come spazio economico interconnesso. Dopo aver brevemente analizzato il ruolo commerciale dei top porti Med nel seguente paragrafo si analizzeranno i legami e la rilevanza che questi snodi principali hanno con l'underwater.

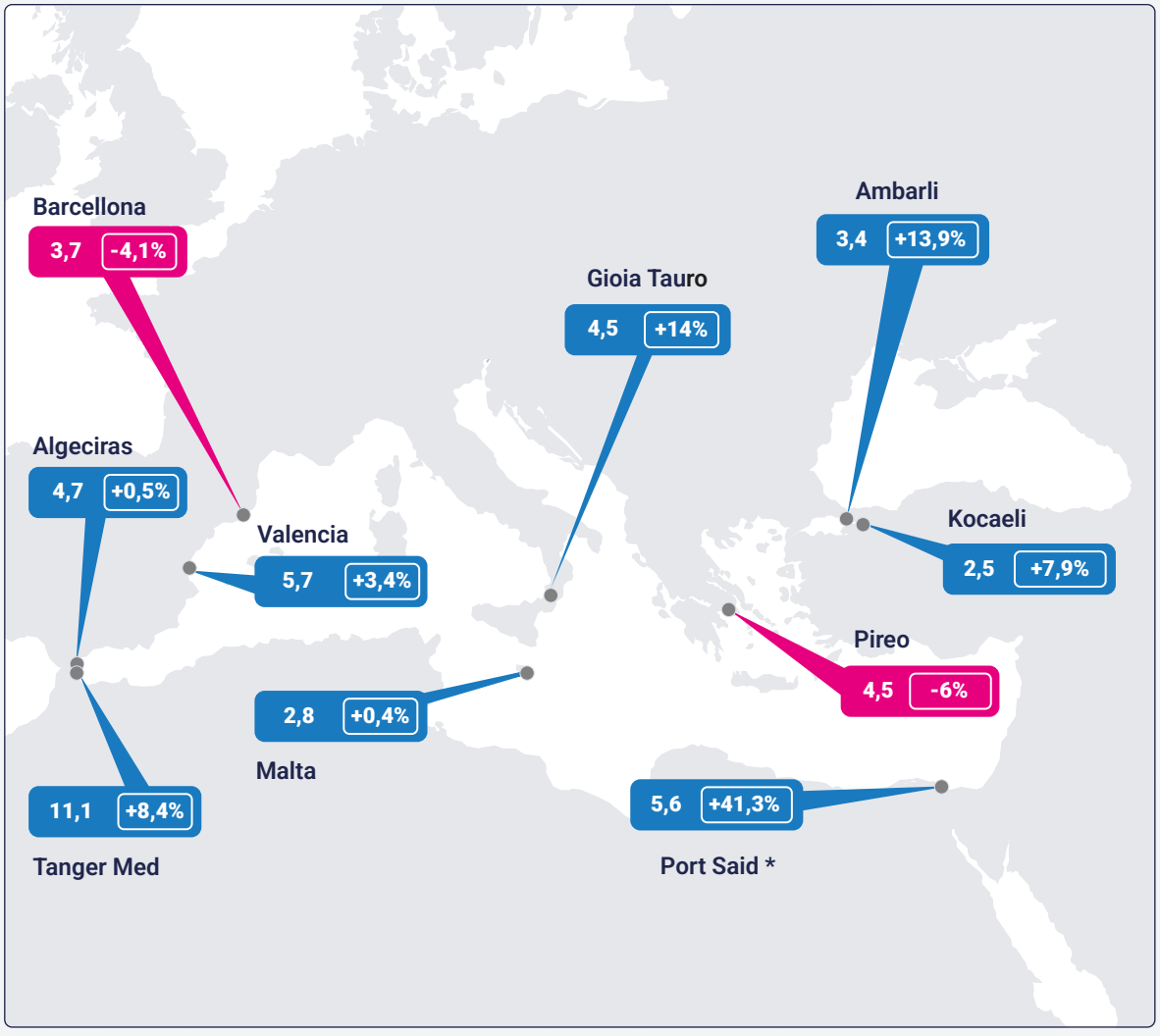
Tanger MED con la sua Free-Zone (specializzata in automotive) sta guidando la corsa tra i porti del Mediterraneo, confermandosi lo scalo più grande con stimati circa 11 milioni di container movimentati nel 2025 con una crescita dell'8,4%.

In crescita anche il porto di Valencia, secondo porto Med e primo hub container spagnolo, prevalentemente gateway. Port Said in Egitto – al di là delle aspettative che erano deboli a causa del conflitto – vede un aumento del 41% e Algeciras si mantiene centrale nel Mediterraneo sia occidentale che orientale anche se presenta una sostanziale stabilità dovuta alla forte competizione con il prospiciente porto di Tanger Med.

Brillante la performance del primo porto italiano, Gioia Tauro, altro scalo di transhipment. In calo, invece, il Pireo in Grecia del -6%. Nel complesso i molti segni più si stagliano sui porti in flessione. Emerge inoltre un quadro di crescita trainata dagli hub della sponda Sud. Molti dei top port, dagli spagnoli, a Tanger Med, ai porti italiani, hanno connessioni ferroviarie interne facendo dei porti dei nodi strategici di connessione nelle supply chain e ampliando dunque il ruolo cardine dell'underwater e delle comunicazioni.

Figura 8

Performance dei primi 10 porti del Mediterraneo



* Per Port Said è stato considerato l'andamento del terminal gestito da COSCO.

Fonte: SRM su Autorità Portuali e OsserMare. Dati in milioni di TEU e var.% 2025/2024

4. Il Mediterraneo come spazio ad alta densità underwater

Il Mediterraneo rappresenta una delle aree mondiali a più elevata concentrazione di infrastrutture underwater, in particolare di cavi sottomarini per la trasmissione dei dati e dell'energia. Tale densità è il risultato della sovrapposizione di direttrici geografiche, economiche e geopolitiche che rendono il bacino un nodo di connessione tra Europa, Africa e Asia.

La presenza simultanea di numerosi sistemi in esercizio e in fase di sviluppo, insieme alla concentrazione di punti di approdo (landing point), configura il Mediterraneo come uno spazio infrastrutturale critico, in cui la continuità operativa delle reti sottomarine dipende in modo diretto dalla capacità dei porti di supportarne installazione e gestione. In questo contesto, l'analisi delle principali dorsali e dei relativi approdi consente di evidenziare il ruolo dei porti mediterranei come nodi fisici essenziali della connettività digitale ed energetica globale.

In termini quantitativi, una quota rilevante delle rotte di connettività tra Europa, Medio Oriente e Asia attraversa il Mediterraneo (**si stima circa il 41%**), a conferma della sua centralità infrastrutturale nel sistema underwater europeo[36]. L'Europa prevede infatti investimenti di oltre 1 miliardo nei cavi sottomarini[37] di cui 420 milioni già finanziati con una concentrazione importante nel bacino. Ma c'è di più, secondo gli ultimi dati di TeleGeography[38], oltre la metà della larghezza di banda interregionale di molti paesi è collegata all'Europa tramite cavi sottomarini nel Mar Rosso. Più in generale, **oltre il 90% di tutta la capacità Europa-Asia è trasportata da cavi nel Mar Rosso**.

La crescita delle nuove infrastrutture si concentra nelle principali aree di interconnessione tra continenti. In bacini ad alta densità come il Mediterraneo, la capacità di garantire una manutenzione efficace delle reti underwater dipende in misura crescente dalla disponibilità di basi portuali adeguate. Secondo una survey condotta da TeleGeography, oltre il 72% dei network operator individua come criteri prioritari nella scelta dei servizi di manutenzione la disponibilità e l'affidabilità operativa delle navi posacavi (Cable Layer) e le navi di manutenzione e riparazione (Cable Repair Ship) e il tempo di risposta, direttamente legato alla base portuale di riferimento[39].

Come evidenziato anche da Sparkle[40] il Mediterraneo sta acquisendo un ruolo chiave anche nel traffico dati internazionale (oltre che marittimo), trainato dalla forte crescita della domanda di capacità e dal riequilibrio geografico dei flussi digitali tra Europa, Africa e Asia. La domanda internazionale di larghezza di banda è triplicata dal 2020 al 2024, superando 6,4 Petabit per secondo (Pbps), con l'Africa che mostra la crescita più rapida (~40-50% CAGR) insieme ad aumenti globali comparabili, mentre l'Europa rimane il maggiore utente con un utilizzo significativo, avvicinandosi a 3800 Tbps (o 3,8 Pbps). Attualmente i principali investitori nelle attività legate ai cavi sottomarini sono le Big Tech (Google, Meta/Facebook, Amazon, Microsoft).

---

[36] BEREC-Body of European Regulators for Electronic Communications, 2025, Draft BEREC Report on submarine cables connectivity in Europe.

[37] Franco Accordino Head of Unit Investment in High-Capacity Networks Directorate-General for Communications Networks European Commission, 2025, CEF Digital -Subsea cables as critical infrastructures.

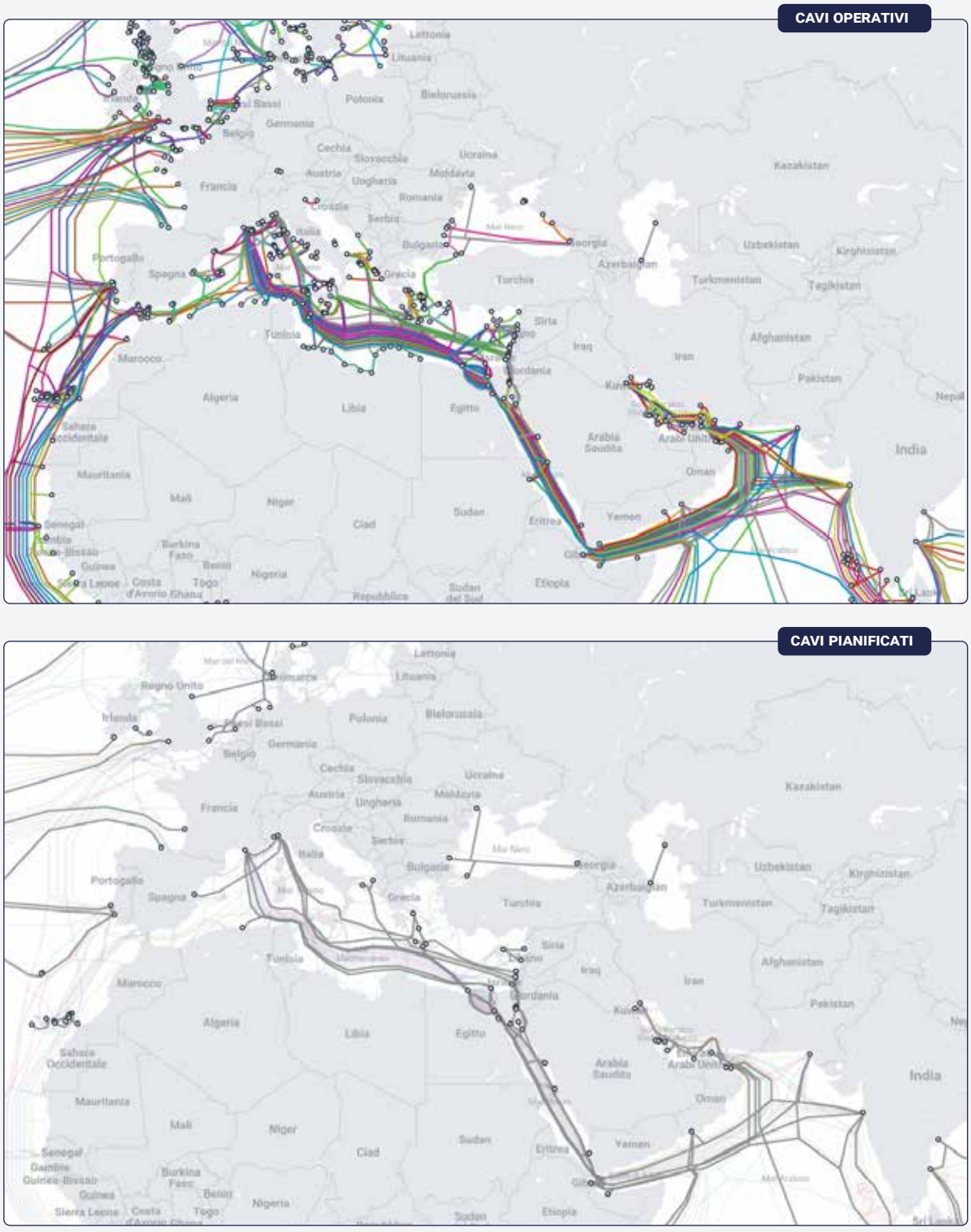
[38] TeleGeography (2024), The Red Sea: A Key Subsea Cable Crossroads Under Siege.

[39] TeleGeography (giugno 2025), The Future of Submarine Cable Maintenance.

[40] Sparkle (marzo 2025), op. cit.

Figura 9

Il Mediterraneo al centro della comunicazione globale



Fonte: Submarine Cable Map di TeleGeography (https://www.submarinecablemap.com/), utilizzata sotto licenza CC BY-SA 4.0

Partendo dalla Spagna, il porto di Valencia, per esempio, è coinvolto nel Barracuda Project[41], infrastruttura digitale che collega Valencia a Genova che comporterà l'installazione di un cavo sottomarino in fibra ottica di 1.070 km e che includerà una Cable Landing Station (CLS) e data center ad alte prestazioni. Si tratta di un investimento significativo (~€100M) per rafforzare connettività e hub digitale.

Marsiglia è uno dei principali digital hub europei[42] per numero di approdi/CLS e interconnessioni verso backbone europei ed è sede del Landing del Sistema Medusa di AFR-IX Telecom. Il segmento iniziale di Medusa collegherà Marsiglia con Bizerte (Tunisia) e Nador (Marocco), per poi espandersi a partire dal 2026 su 12 paesi del Nord Africa e dell'Europa meridionale: Portogallo, Marocco, Spagna, Francia, Algeria, Tunisia, Italia, Malta, Libia, Grecia, Cipro ed Egitto. Il progetto Medusa rappresenta un investimento complessivo di 342 milioni di euro. Pur trattandosi di un'iniziativa privata, la sua importanza strategica ha attirato ingenti finanziamenti pubblici. L'Unione Europea ha stanziato 38,3 milioni di euro attraverso il programma CEF[43].

Anche Port Said è incluso nei landing point del sistema Medusa Submarine Cable System, così come Barcellona. I porti italiani inoltre sono coinvolti in progetti rilevanti. Solo per citare qualche esempio, Genova che si propone come hub emergente per cavi sottomarini in Italia con varie connessioni che includono landing station di sistemi come BlueMed, 2Africa e Medloop oltre al già citato progetto Barracuda come terminale lato Italia del cavo Valencia–Genova, è anche coinvolta nel progetto Unitirreno[44], un nuovo sistema di cavo sottomarino che connetterà Mazara del Vallo a Genova (con possibili diramazioni verso Roma e Olbia) con tecnologia avanzata.

La Sicilia, essendo l'isola più grande del Mar Mediterraneo, è in una posizione strategica per i cavi che collegano Asia, Europa e Africa. Ci sono oltre 20 cavi sottomarini che approdano in Sicilia, nelle stazioni di Palermo, Catania, Mazara del Vallo, Pozzallo e Trapani[45].

Oltre a Bari che è un altro importante sito di approdo in Italia, si evidenzia anche il cavo India Europe Express (IEX) che collega l'India con il porto di Savona.

Il cavo è di proprietà dell'azienda indiana Reliance Jio, che è anche titolare del cavo IAX. L'India-Asia-Xpress (IAX) è un cavo sottomarino che collega Mumbai e Chennai a Singapore e si interconnette con l'India-Europe-Xpress (IEX) a Mumbai per raggiungere il Medio Oriente, l'Africa e l'Europa con un investimento strategico da parte di China Mobile. Il sistema è principalmente controllato dall'operatore indiano Reliance Jio, con il coinvolgimento di China Mobile come partner e investitore strategico.

[41] Submarine Cable Networks (1 febbraio 2025), Teset Capital to Invest €100 million in the Barracuda Project.

[42] Marseille Fos, Submarine cables [https://www.marseille-port.fr/en/projets/cables-sous-marins?].

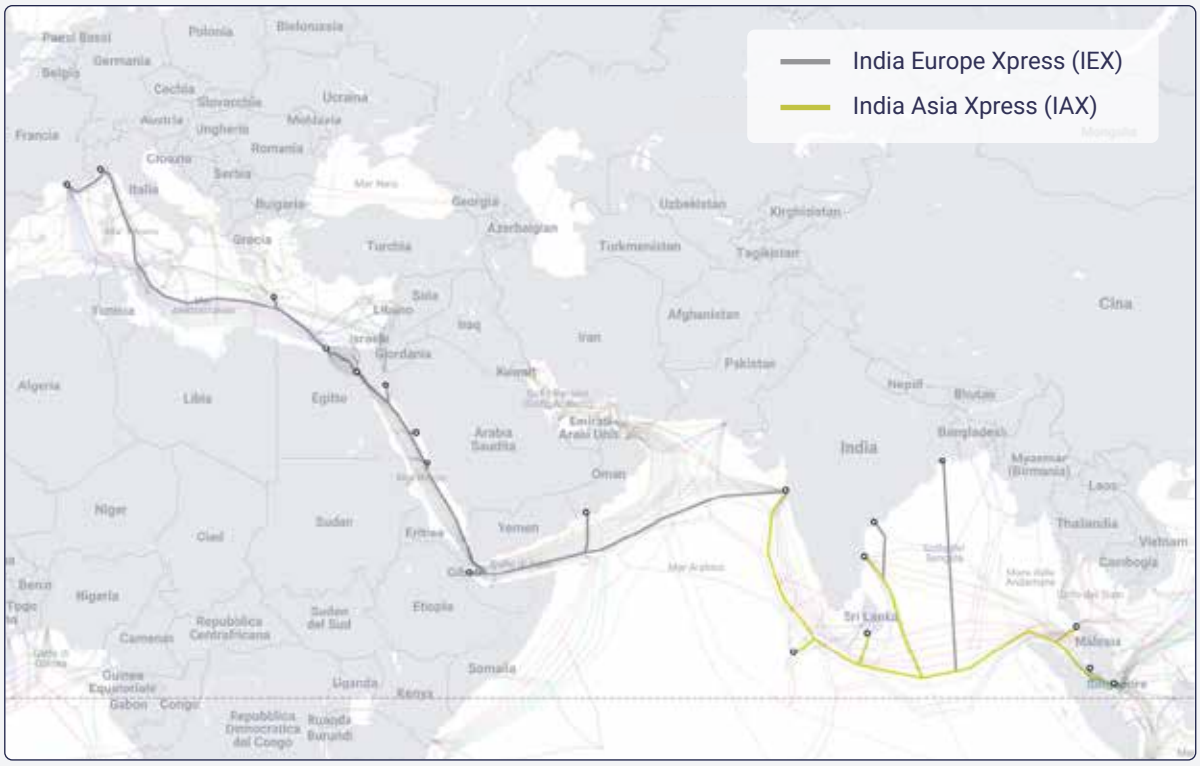
[43] Medusa Submarine Cable System (8 ottobre 2025), Medusa Submarine Cable System Lands in Marseille.

[44] Il Sole 24 Ore (20 settembre 2024), Cavi internet sottomarini, i big scelgono Genova.

[45] Dipartimento per la trasformazione digitale (7 settembre 2025), Intervista del Sottosegretario Butti a "La Sicilia".

Figura 10

Il cavo India Europe Express (IEX) e la connessione con l'Italia



Nota: Il sistema IEX si affida anche a una serie di collegamenti terrestri: il doppio transito che in Egitto collega Zafarana2 sul Mar Rosso e Sidi Kerir sul Mediterraneo, e il collegamento terrestre in Italia tra Savona e Milano attraverso la "Liguria Landing Platform".

Fonte: Submarine Cable Map di TeleGeography (https://www.submarinecablemap.com/), utilizzata sotto licenza CC BY-SA 4.0

L'Italia è anche al centro di un altro progetto il Blue-Raman sviluppato da Sparkle in collaborazione con Google e Omantel. L'infrastruttura si articola in due segmenti complementari: Blue, che collega l'Italia (Milano e Genova) alla Grecia e a Israele e Raman, che estende la connessione verso l'India attraverso Giordania, Arabia Saudita e Oman.

Blue System segue una nuova rotta attraversando lo Stretto di Messina anziché il Canale di Sicilia ed è operativo nel primo tratto fino alla Grecia e con una diramazione su Cipro[46], mentre il conflitto Israele-Hamas ha posto un freno alla realizzazione del tratto successivo[47].

[46] Sparkle (29 ottobre 2025), BlueMed Submarine Cable Lands in Cyprus.

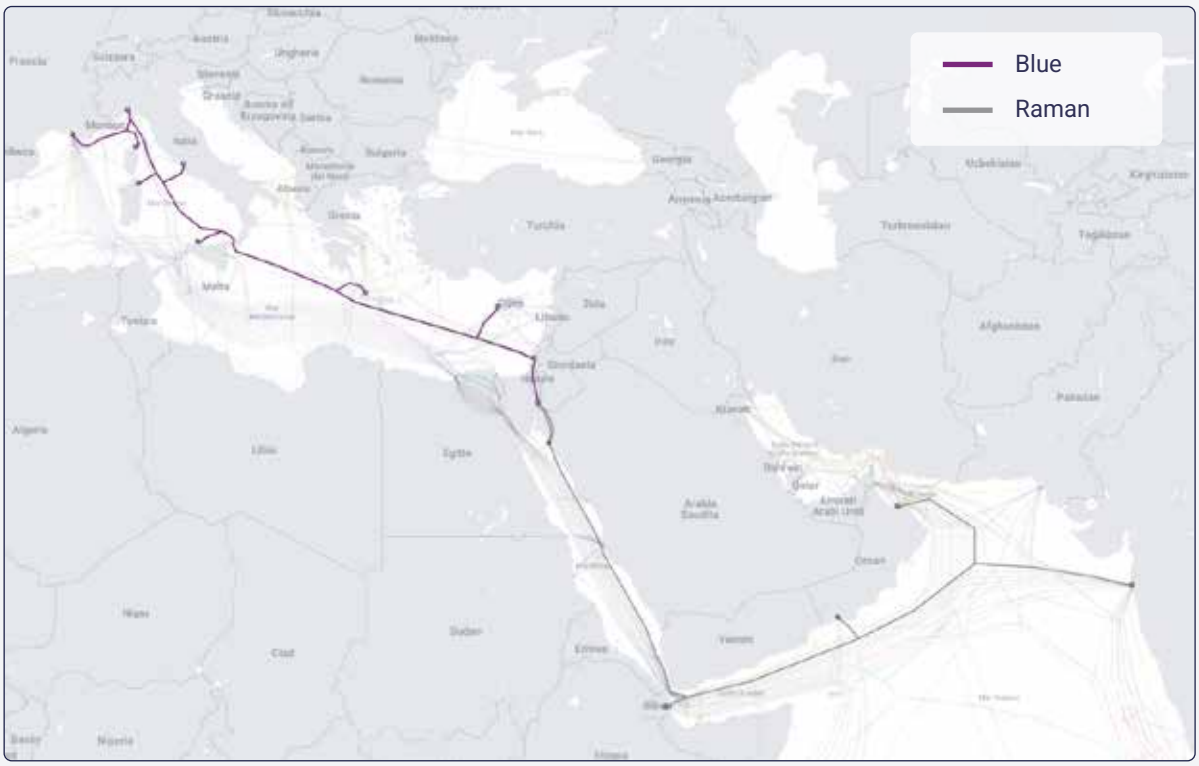
[47] Affari Italiani (27 giugno 2025), Sparkle Blue Raman, il "cavo della pace" tra Italia e India si arena sulla guerra di Israele.

Il segmento “Raman” che collega il Medio Oriente all’India attraverso Giordania, Arabia Saudita, Oman fino all’India non è operativo. Vi sono iniziative di estendere la dorsale Blue-Raman anche oltre l’Asia fino all’Africa orientale (Somalia, Kenya, Tanzania) nell’ambito di programmi europei[48]. L’iniziativa è cofinanziata con un contributo di 37 milioni di euro dalla Commissione europea e sostenuta da Sparkle.

Questi progetti sono inoltre funzionali alla realizzazione del Corridoio India-Medio Oriente-Europa (Imec). Imec prevede un ambizioso progetto di cavi digitali che collegherà l’India e l’Europa attraverso il Medio Oriente.

Figura 11

Il cavo Blue-Raman



Fonte: Submarine Cable Map di TeleGeography (https://www.submarinecablemap.com/), utilizzata sotto licenza CC BY-SA 4.0

[48] Commissione Europea (20 giugno 2025), Joint press release by the European Commission and the Presidency of the Council of Ministers of Italy.

La **Tabella 2**, pur non avendo carattere esaustivo, fornisce una ricognizione sistematica delle principali infrastrutture di connettività sottomarina insistenti sul bacino del Mediterraneo, individuando 13 Paesi coinvolti, 24 porti e aree portuali interessate e 22 cavi principali di rilevanza internazionale, oltre a una pluralità di collegamenti regionali. Nel loro insieme, tali elementi restituiscono la misura della centralità strategica del Mediterraneo quale corridoio essenziale delle comunicazioni globali, evidenziandone al contempo il ruolo di interconnessione, cooperazione e interdipendenza tra sistemi economici, tecnologici e istituzionali a scala regionale e globale.

Il Mediterraneo, caratterizzato da una forte concentrazione su Marsiglia (rischio SPOF – Single Point of Failure) sta spingendo molti nuovi progetti a diversificare, individuando l'Italia come principale punto di approdo, con la crescita del versante ligure (Genova e Savona) e del Nord-Est italiano come principali alternative. Anche la Spagna, con Barcellona, è candidata a diventare un hub di bacino. La diversificazione può essere infatti la chiave per evitare i colli di bottiglia e ridurre rischi[49].

[49] Come evidenziato anche da Sparkle (marzo 2025), I cavi sottomarini e la rilevanza strategica delle infrastrutture critiche di connettività presso MIMIT - Scuola Superiore di Specializzazione in TLC.

Tabella 2

Principali porti, reti, operatività dei cavi e rilevanza strategica

	Landing point / area	Rilevanza strategica	Principali sistemi di cavo
Spagna	Barcellona	Hub iberico per traffico intra-mediterraneo e UE	**MedNautilus**, **EllaLink** (interconn.), **Medusa**
	Valencia (area)	Alternativa a Marsiglia	**Alval**, **Orval**, **Medusa**, **Barracuda**
Francia	Marsiglia	Principale hub europeo	**SEA-ME-WE 3, 4, 5**, **AAE-1**, **MedNautilus**, 2Africa (operativo parziale), **Africa-1**
Italia	Genova	Hub emergente Nord Italia–Europa	**BlueMed**, **Blue** (Blue-Raman), **Barracuda**, **Unitirreno**, 2Africa (operativo parziale), **Medloop**
	Palermo	Snodo storico Mediterraneo centrale	**BlueMed**, **MedNautilus**, **SEA-ME-WE 3, 4, 5**
	Roma (Pomezia / area)	Backbone nazionale	**Janna**, **Fiber regionali**, **Unitirreno** (dir.)
	Mazara del Vallo / Catania / Pozzallo / Trapani	Elevata concentrazione di approdi siciliani	**SEA-ME-WE 3, 4, 5**, **MedNautilus**, **Unitirreno** (Mazara)
	Bari	Nodo Adriatico	**Cavi regionali Adriatico-Ionio**
	Savona (Bergeggi)	Terminale europeo Indo-Med	**India-Europe-Xpress (IEX)**
Grecia	Chania (Creta)	Hub Mediterraneo orientale	**BlueMed**, **MedNautilus**, **AAE-1**
Turchia	Istanbul	Connessione Med–Mar Nero	**Sistemi regionali Mar Nero–Med**
Cipro	Pentaskhinos	Nodo Est Mediterraneo	**SEA-ME-WE 3, 4, 5**, **AAE-1**, **MedNautilus**
Israele	Tel Aviv	Snodo Med–Mar Rosso (via terra)	**Blue** (Blue-Raman), **Jonah**, **Tamares**
Libano	Tripoli	Nodo Levante	**CADMOS**, **Cavi regionali**
Egitto	Port Said	Chokepoint globale Med–Mar Rosso	**SEA-ME-WE 4, 5, 6**, **AAE-1**, **Africa-1**, **Medusa**
	Alessandria / Sidi Kerir	Massima concentrazione infrastrutturale	**SEA-ME-WE 3, 4, 5, 6**, **Altri sistemi Euro-Asia**
Tunisia	Bizerte	Alternativa parziale all'Egitto	**Hannibal**, **Medusa**
Libia	Tripoli	Hub nordafricano emergente	**MedNautilus**, **Medusa**
Algeria	Algeri	Connessione Iberia–Nord Africa	**SEA-ME-WE 3, 4**, **Alval**
Marocco	Tétouan (Tetouan)	Ingresso Atlantico–Mediterraneo	**Atlas Offshore**, **Medusa**

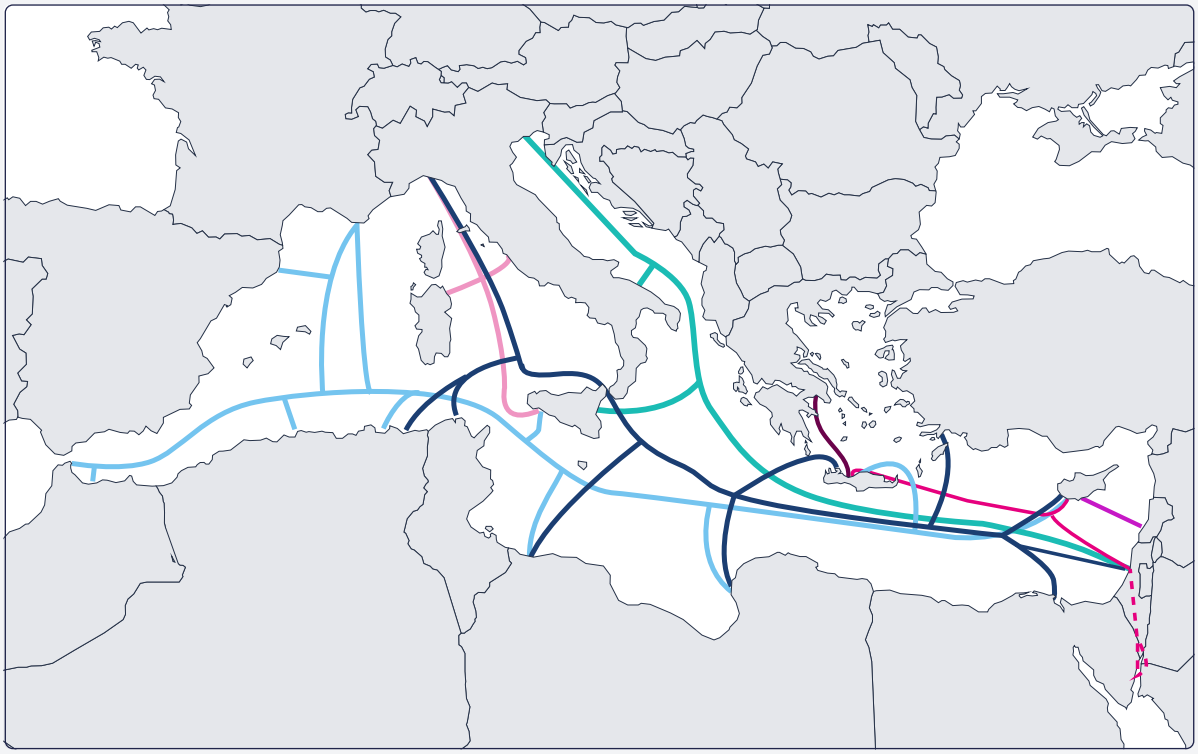
Landing point: un porto o un'area portuale in cui è presente una stazione di approdo (Cable Landing Station) di uno o più cavi sottomarini.

Cavi operativi (in esercizio) | **Cavi in sviluppo** (posa/completamento in corso) | **Cavi pianificati** (annunciati o in fase autorizzativa)

Fonte: SRM e OsserMare su TeleGeography (2025) e dati vari

Figura 12

Principali sistemi di cavi sottomarini in corso nel Mediterraneo e spinta alla diversificazione sull'Italia



APOLLO EAST–WEST di **Grid Telecom**. Collegamento **Atene – Creta** (*RFS 2024*).

ANDROMEDA di **Grid Telecom e Taqa**. Collegamento **Creta – Cipro – Israele** (*RFS 2025*).
Con ulteriore collegamento terrestre verso **Aqaba** e **Haql** in **Arabia Saudita**.

BLUEMED di **Sparkle**.Collegamento tra i Paesi del Mediterraneo. Il segmento **Genova/Marsiglia – Grecia** (Chania) è **attivo**. Sono pianificate diramazioni verso **Algeria, Tunisia, Libia, Turchia e Cipro**.

GREEN MED di **Sparkle**. Collegamento **Italia – Grecia – Israele**,
con possibili diramazioni verso i Paesi del **Mar Adriatico** *(RFS 2027)*.

UNITIRRENO di **Unidata e Azimut**.Attraverserà il **Mar Tirreno**.
Collegamento **Genova – Sicilia – Sardegna – Roma** *(RFS 2025 Q3)*.

MEDUSA di **AFR-IX Telecom**. Attraverserà il Mediterraneo.
Collegamento **Grecia – Cipro – Paesi del Nord Africa – Sicilia – Francia – Spagna – Atlantico** *(RFS 2026)*.

CADMOS-2 di **Cyta** e del **Ministero delle Telecomunicazioni libanese**.
Collegamento **Cipro – Libano** *(RFS 2026)*.

Fonte: SRM su Sparkle

RFS = Ready for service.

Eolico offshore e infrastrutture underwater

Nel quadro dell'analisi della dimensione underwater, lo sviluppo dell'eolico offshore assume una rilevanza crescente, in quanto i parchi eolici marini sono intrinsecamente legati alla realizzazione di **infrastrutture sottomarine di trasmissione elettrica**, in particolare i cavi di esportazione verso la terraferma. Nel caso del Mediterraneo, la componente **floating** risulta tecnicamente più coerente con la batimetria del bacino e comporta fabbisogni infrastrutturali complessi, che includono sistemi di ancoraggio, cavi sottomarini e attività di posa e manutenzione underwater.

Le fasi di installazione, gestione e manutenzione dei parchi eolici offshore richiedono navi specializzate, capacità di installazione offshore e infrastrutture portuali di supporto.

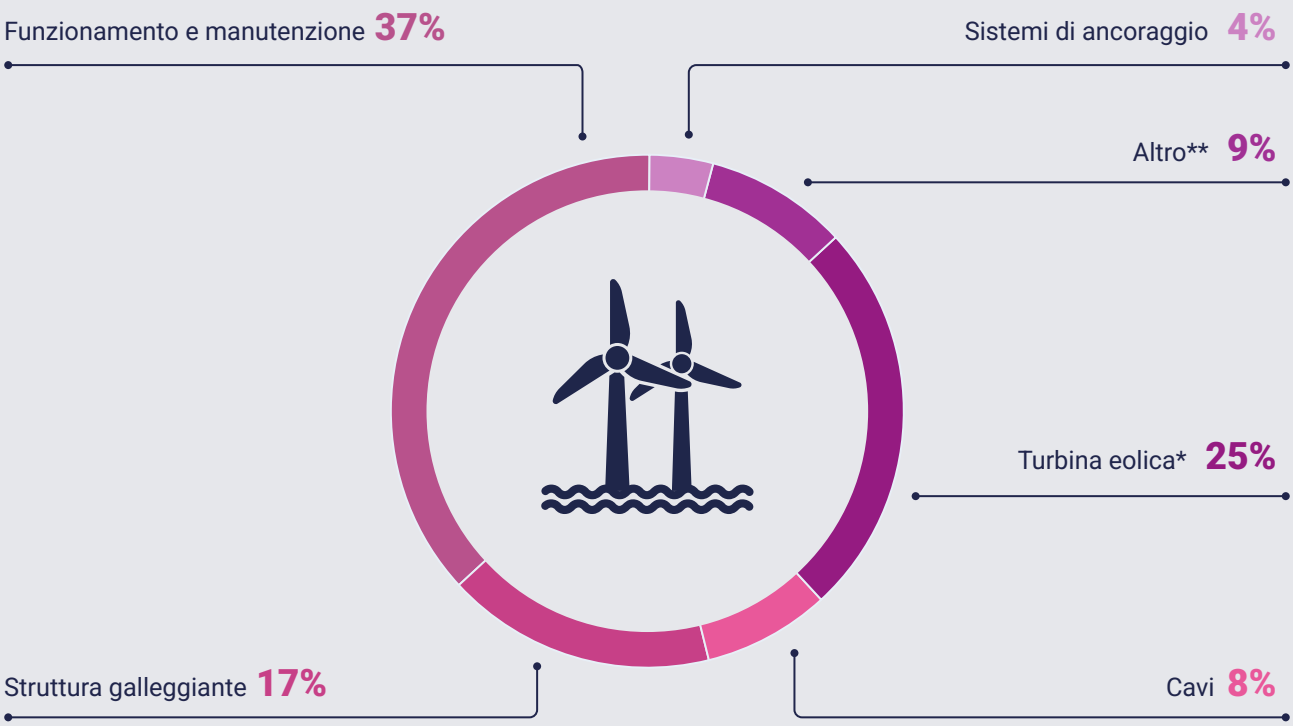
Secondo stime tecniche, le attività di installazione e manutenzione rappresentano la componente più onerosa del ciclo di vita di un parco eolico galleggiante, incidendo per circa il **37%**[50] **dei costi complessivi**.

Il potenziale tecnico dell'eolico offshore floating nei Paesi mediterranei è stimato in circa 782 GW, con risorse concentrate soprattutto in **Libia, Tunisia, Italia e Grecia**[51], e con un coinvolgimento rilevante anche di **Francia, Spagna, Marocco e Algeria** in termini di sviluppo industriale e logistico. In tale quadro, l'eolico offshore assume un profilo sempre più **infrastrutturale**, poiché richiede porti in grado di operare come **hub industriali** per assemblaggio, varo e supporto operativo, oltre a garantire la realizzazione e la gestione delle opere underwater.

[50] Eolico Offshore Galleggiante: Opportunità nel percorso di decarbonizzazione e ricadute industriali per l'Italia.

[51] Politecnico di Torino, MOREnergy Lab (2024), Floating offshore wind energy potential in the Mediterranean Sea, Helyon – Elsevier.

Costo totale di un parco eolico offshore galleggiante. Categorie (valori %) 2023



* Include navicella, rotore e torre.

** Altro include sottostazione offshore, sottostazione onshore, smantellamento, sviluppo e gestione del progetto.

Fonte: SRM e OsserMare su Ambrosetti 2024, Floating Offshore Wind Community

5. Shipping, flotta specializzata e filiera cantieristica: focus sul ruolo strategico dell'Italia

Nel bacino mediterraneo, il trasporto marittimo di corto raggio (Short Sea Shipping – SSS) continua a svolgere una funzione rilevante nel sostenere l'integrazione regionale e l'evoluzione delle catene del valore, in un contesto internazionale segnato da crescenti tensioni geopolitiche e da una progressiva regionalizzazione degli scambi. Le strategie di nearshoring e friendshoring adottate dalle imprese, volte a ridurre l'esposizione ai rischi delle catene globali, stanno rafforzando i flussi a corto raggio lungo l'asse Nord Africa–Europa. In tale quadro, il Mediterraneo si conferma l'area a più elevata intensità di Short Sea Shipping in Europa, con 628 milioni di tonnellate movimentate.

La posizione geografica dell'Italia e la struttura articolata del suo sistema portuale consentono di estendere l'analisi verso segmenti a maggiore contenuto tecnologico e infrastrutturale, in particolare quelli legati alla dimensione underwater. In questo senso, la leadership italiana nello Short Sea Shipping – con 259 milioni di tonnellate movimentate nell'area mediterranea, pari al 41% del totale, e una quota del 16% sul totale UE – rappresenta un fattore abilitante, ma non esaustivo, del posizionamento strategico nazionale.

La flotta italiana traghetti, inoltre, ovvero le navi particolarmente adatte al trasporto su brevi distanze, è leader a livello globale. I porti e le infrastrutture marittime hanno una notevole rilevanza per il nostro Paese perché sostengono l'internazionalizzazione del sistema produttivo.

Ma i principali operatori europei con esperienza nello Short Sea stanno ora aprendosi adattandosi a riprodurre una tale attività anche in aree diverse del mondo qual è il bacino intra Asia (è il caso sia di Grimaldi[52] che di Wallenius Wilhelmsen[53]).

Il commercio estero italiano a settembre 2025 ha superato i 922 miliardi di euro, un aumento del 3,7% su base annua; nel dettaglio l'import ha raggiunto il valore di 443 miliardi di euro (+3,8%) e l'export è stato pari a 479 miliardi di euro (+3,6%). Il commercio via mare rappresenta la seconda modalità dopo la strada, ne concentra il 25,5%, ed è stato pari a 235 miliardi di euro, dato tuttavia in controtendenza rispetto al complessivo perché vede una leggera contrazione dell'1,5%.

Il sistema portuale italiano si caratterizza per una forte multifunzionalità, con scali multipurpose in grado di servire sia le grandi direttrici internazionali sia i bacini produttivi nazionali e i distretti industriali. A dicembre 2025, i porti italiani hanno movimentato circa 511 milioni di tonnellate di merci, mostrando una crescita dei traffici del 6% in particolare concentrata su containerizzati e rinfuse. Questa articolazione territoriale, riflessa nelle 16 Autorità di Sistema Portuale, costituisce una base potenzialmente favorevole allo sviluppo di funzioni industriali e operative avanzate, incluse quelle connesse alle attività underwater, che richiedono integrazione tra logistica, cantieristica e servizi tecnici specializzati.

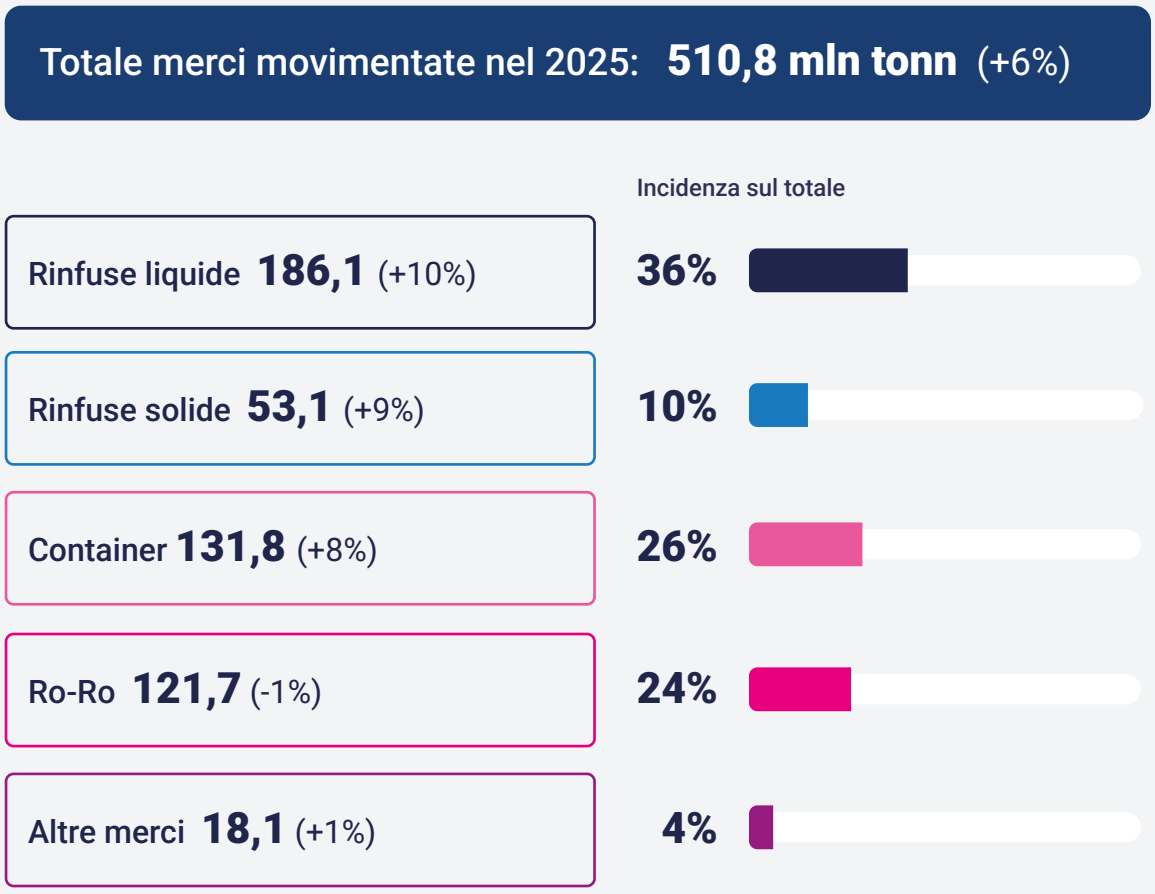
[52] Corriere Marittimo (2 dicembre 2025), Grimaldi prende in consegna in Cina la car carrier Grande Istanbul, quarta nave ammonia-ready.

[53] Wallenius Wilhelmsen (7 gennaio 2026), Wallenius Wilhelmsen enters new contract with major Asian vehicle and heavy equipment manufacturer.

La recente riforma della governance portuale, con l'istituzione di Porti d'Italia S.p.A., introduce un livello di coordinamento nazionale nella gestione degli investimenti infrastrutturali strategici e nella promozione unitaria del sistema portuale italiano. Tale assetto può rappresentare un elemento abilitante per il supporto a progetti ad elevata complessità tecnica, inclusi quelli relativi alla operatività delle infrastrutture sottomarine, che richiedono capacità finanziarie, industriali e operative integrate.

Figura 13

La movimentazione multipurpose dei porti italiani



Fonte: SRM e OsserMare su AdSP. Dati al 2025 in milioni di tonnellate e var.% 2025/2024

È tuttavia nella flotta specializzata e nella filiera cantieristica che l'Italia esprime il proprio principale vantaggio comparato nella dimensione underwater. Il Paese dispone di competenze consolidate nella progettazione, costruzione e gestione di navi altamente specializzate, destinate a operare in contesti ambientali complessi, quali le navi posacavi e le navi di manutenzione e riparazione che rappresentano asset essenziali per la connettività digitale globale e per lo sviluppo delle infrastrutture energetiche offshore e subacquee.

Nel contesto delle infrastrutture underwater, il posizionamento industriale italiano si sta evolvendo da una configurazione di filiera articolata a un modello progressivamente più integrato, nel quale le competenze cantieristiche, tecnologiche, operative e di servizio tendono a convergere attorno a piattaforme industriali capaci di presidiare porzioni sempre più ampie della catena del valore. Tale evoluzione è particolarmente evidente nella strategia di Fincantieri, che negli ultimi anni ha affiancato alla crescita organica una chiara traiettoria di crescita inorganica nel dominio subacqueo, attraverso acquisizioni mirate volte ad ampliare il perimetro tecnologico, rafforzare le capacità operative e consolidare una leadership nazionale e internazionale in un settore ad alta rilevanza strategica.

In questo ambito, Fincantieri, anche attraverso la controllata VARD, mantiene un ruolo di Tier One shipbuilder a livello internazionale nella progettazione e costruzione di navi posacavi, unità offshore e piattaforme navali ad alto contenuto tecnologico. A questa competenza storica si è progressivamente affiancata una strategia di consolidamento del dominio underwater fondata sull'integrazione di capacità complementari: dall'acquisizione di Remazel nel 2024, rilevante per le attrezzature e i sistemi destinati alle operazioni offshore e subsea, al completamento dell'acquisizione di WASS nel 2025, che ha portato nel Gruppo competenze avanzate nei sistemi acustici, nei sensori e nelle tecnologie subacquee dual-use, fino alle più recenti operazioni su Next Geosolutions, WSense, Graal Tech e Defcomm, orientate rispettivamente a rafforzare servizi di survey e geoscienze marine, comunicazioni underwater e Internet of Underwater Things, veicoli autonomi subacquei e droni di superficie. Questa sequenza di acquisizioni configura una volontà esplicita di crescita inorganica, finalizzata non solo ad ampliare il portafoglio di offerta, ma a costruire un presidio industriale integrato lungo l'intero ciclo di vita delle attività underwater.

La traiettoria intrapresa colloca Fincantieri in una posizione sempre più prossima a quella di orchestratore industriale del dominio underwater, capace di integrare piattaforme navali, sensoristica, comunicazioni, sistemi autonomi, servizi marini e capacità operative. In questa prospettiva, il Gruppo non si limita più al ruolo di integratore della piattaforma nave, ma ambisce a coordinare un ecosistema tecnologico e industriale in grado di offrire soluzioni end-to-end per mercati civili e difesa, con particolare riferimento alla protezione delle infrastrutture critiche sottomarine, alla sicurezza marittima, al monitoraggio dei fondali, alle operazioni offshore e allo sviluppo di sistemi autonomi. La crescita per linee esterne consente quindi di accelerare il posizionamento competitivo, ridurre le discontinuità lungo la filiera e consolidare una leadership di settore in un mercato nel quale la componente dual-use è destinata ad assumere un peso crescente.

In tale quadro, Prysmian continua a configurarsi come prime contractor e system integrator dell'infrastruttura underwater, operando lungo l'intera catena del valore che va dalla produzione dei cavi sottomarini all'ingegneria di sistema, fino alle attività di installazione, commissioning e manutenzione attraverso una flotta dedicata. La capacità di presidiare in modo integrato tutte le fasi del progetto rafforza il posizionamento del gruppo come uno dei principali attori globali nei segmenti più strategici della connettività sottomarina, sia digitale sia energetica. Accanto a Prysmian, il mercato globale vede la presenza di pochi altri operatori di analogo livello – quali NKT, Alcatel Submarine Networks e SubCom – delineando un settore fortemente concentrato e ad elevata intensità tecnologica. La complementarità tra un prime contractor infrastrutturale come Prysmian e un polo industriale underwater in espansione come Fincantieri rappresenta, per il sistema Paese, un elemento di particolare rilevanza strategica.

RINA, infine, svolge un ruolo chiave come ente di classificazione, certificazione e ingegneria, supportando i progetti underwater attraverso attività di verifica tecnica, conformità normativa e advisory, contribuendo alla robustezza e all'affidabilità complessiva delle infrastrutture.

Nel loro insieme, questi attori delineano una supply chain nazionale completa ma specializzata, nella quale il valore aggiunto dell'Italia non risiede in un singolo soggetto dominante, bensì nella capacità di integrazione tra cantieristica avanzata, prime contractor, operatori tecnologici e sistema portuale, elemento che rafforza il posizionamento del Paese come piattaforma industriale e operativa dell'ecosistema underwater nel Mediterraneo.

Nel 2025, la flotta mondiale di navi dedicate ai cavi sottomarini si articola in due segmenti principali: le navi posacavi (Cable Layer), destinate all'installazione delle infrastrutture, e le navi di manutenzione e riparazione (Cable Repair Ship), fondamentali per garantire la continuità operativa delle reti. Escludendo le unità russe e quelle di bandiera non identificata, la flotta in servizio conta complessivamente 107 unità[54] – di cui 75 Cable Layer e 32 Cable Repair Ship – per una stazza lorda complessiva prossima a 1 milione di GT, concentrata in un numero limitato di Paesi e operatori.

La rapida espansione della rete globale dei cavi sottomarini, trainata dalla crescita del traffico dati e dallo sviluppo delle dorsali energetiche offshore, sta determinando una pressione strutturale crescente sulla flotta esistente. Nel prossimo triennio sono previste in costruzione 19 nuove unità per circa 381.600 GT; tuttavia, tali incrementi non risultano sufficienti a compensare l'invecchiamento della flotta. Secondo stime di TeleGeography e Infra-Analytics, entro il 2040 la lunghezza complessiva dei cavi sottomarini aumenterà del 48%, mentre il numero annuo di interventi di riparazione è atteso crescere del 36% nel periodo 2025–2040[55].

A fronte di questa espansione, circa il 40% della flotta globale raggiungerà la soglia dei 40 anni di vita operativa entro il 2040, limite critico in termini di affidabilità tecnica ed efficienza. Nel solo prossimo triennio si stima che circa 18 navi dovranno essere sostituite, generando un fabbisogno di investimenti stimato in una forchetta compresa tra 4 e 5 miliardi di dollari, in funzione delle specifiche tecniche e delle capacità di posa e manutenzione richieste[56].

In questo contesto, cresce l'attenzione dei governi verso i temi della sicurezza e della sovranità delle infrastrutture sottomarine, con un possibile rafforzamento delle capacità nazionali e regionali di manutenzione e con un ruolo sempre più centrale dei porti come basi operative dell'ecosistema sottomarino.

[54] Escluse navi russe e sconosciute.

[55] TeleGeography (2025), The Future of Submarine Cable Maintenance: Trends, Challenges, and Strategies.

[56] Il numero di navi da sostituire entro il 2040 è calcolato applicando il criterio di età operativa (≥ 40 anni al 2040): 43 unità su 107 (40,2% della flotta), di cui 19 Cable Layer e 24 Cable Repair Ship. La stima del fabbisogno di investimento è ottenuta applicando benchmark industriali basati su ordini recenti, assumendo un costo unitario di €240–290 milioni per nave posacavi e di €200–250 milioni per nave di manutenzione e riparazione, al solo fine di stimare l'ordine di grandezza del CAPEX complessivo.

Tabella 3

Flotta globale Cable Layer & Cable Repair * – per Paese

	Navi	GT	Cable Layer	GT	Cable Repair	GT
Francia (Fis)	12	130.262	9	110.223	3	20.039
Indonesia	12	85.262	7	42.624	5	42.638
Italia	5	82.401	3	66.682	2	15.719
Cina	8	65.819	8	65.819	0	-
Norvegia (Nis)	4	55.753	3	48.581	1	7.172
Stati Uniti	5	53.645	3	24.515	2	29.130
Regno Unito	5	53.297	2	15.448	3	37.849
Paesi Bassi	5	49.997	4	45.154	1	4.843
Isole Marshall	4	48.736	4	48.736	0	-
Panama	5	39.443	5	39.443	0	-
Giappone	5	37.172	4	27.662	1	9.510
Emirati Arabi Uniti	4	31.351	0	-	4	31.351
Malta	2	29.701	2	29.701	0	-
Singapore	2	22.182	0	-	2	22.182
Isola di Man	2	21.805	2	21.805	0	-
Danimarca (Dis)	3	21.260	3	21.260	0	-
Filippine	3	16.808	3	16.808	0	-
Altro	21	97.288	13	64.015	8	33.273
Totale	**107**	**942.182**	**75**	**688.476**	**32**	**253.706**

Fonte: SRM e OsserMare su Confitarma

6. Conclusioni

Lo sviluppo delle infrastrutture underwater non può essere interpretato come un processo esclusivamente tecnologico ma come un elemento centrale della sicurezza economica, energetica e digitale. In questo quadro, i porti emergono come infrastrutture abilitanti del subsea, poiché costituiscono l'interfaccia operativa tra la dimensione dei fondali e quella delle reti terrestri, rendendo possibile la posa, la manutenzione e la protezione delle infrastrutture sottomarine lungo l'intero ciclo di vita.

Nel Mediterraneo, la concentrazione di traffici commerciali, cavi sottomarini e flussi energetici amplifica simultaneamente opportunità e vulnerabilità del sistema. L'elevata densità infrastrutturale del bacino accresce il valore strategico dei porti come basi operative permanenti, ma rende al contempo più critici i temi della continuità operativa, della sicurezza e della rapidità di intervento in caso di guasti o incidenti. Il rafforzamento delle capacità portuali, integrato con una flotta specializzata e con una filiera cantieristica e tecnologica avanzata, rappresenta pertanto una leva centrale per la resilienza dell'ecosistema sottomarino.

In tale contesto, l'Italia presenta un posizionamento potenzialmente rilevante, che non risiede tanto nella dimensione numerica della flotta quanto nella qualità e multifunzionalità del proprio sistema portuale e nella presenza di una filiera industriale completa, capace di operare lungo l'intera catena del valore dell'underwater. La disponibilità di una supply chain di aziende prime contractor e system integrator di primario standing internazionale, attive nella progettazione, costruzione e gestione di navi specializzate e nella realizzazione delle infrastrutture sottomarine, consente al Paese di svolgere un ruolo che va oltre la funzione logistica, configurandosi come piattaforma industriale e operativa per le reti sottomarine digitali ed energetiche nel Mediterraneo.

In questa prospettiva, la dimensione subsea non può essere ricondotta al singolo porto, ma al sistema portuale nel suo complesso, inteso come una rete integrata di scali, infrastrutture terrestri e capacità operative distribuite sul territorio. È a questo livello che il sistema portuale contribuisce alla continuità delle infrastrutture sottomarine, facilitando l'accessibilità ai punti di approdo, l'integrazione con le reti digitali e terrestri e il supporto operativo necessario, mentre le attività specialistiche restano affidate alle navi e agli operatori dedicati.

Nel complesso, emergono elementi strutturali di vantaggio competitivo per lo sviluppo del sottomare, legati a un sistema portuale e logistico maturo, a competenze industriali consolidate e a una domanda globale in crescita, sostenuta anche dalle nuove traiettorie di sviluppo energetico offshore. Permangono tuttavia criticità infrastrutturali, in particolare legate all'invecchiamento della flotta specializzata, alla concentrazione delle capacità operative e al numero ancora limitato di porti pienamente attrezzati per attività underwater avanzate. Affrontare tali elementi rappresenta una condizione necessaria per trasformare il potenziale infrastrutturale in un vantaggio competitivo duraturo e per rafforzare la sicurezza e la resilienza delle infrastrutture sottomarine nel medio-lungo periodo.

Analisi SWOT

Punti di forza

- Centralità delle infrastrutture underwater per la connettività digitale ed energetica globale.
- Ruolo strutturale dei porti come punti di accesso, basi operative e nodi di integrazione tra fondale e reti terrestri.
- Presenza di una filiera industriale specializzata (navi posacavi, repair, tecnologie subsea, cantieristica).
- Disponibilità di una supply chain di aziende prime contractor e system integrator di primario standing internazionale, capaci di coordinare progetti complessi e integrare nave, sistemi di posa e infrastrutture sottomarine.
- Elevato know-how tecnologico e operativo concentrato in un numero limitato di operatori e hub portuali.

Punti di debolezza

- Numero limitato di porti effettivamente attrezzati per supportare posa, manutenzione e riparazione delle infrastrutture underwater.
- Invecchiamento di parte della flotta specializzata e capacità di intervento non sempre adeguata alla crescita delle reti.
- Elevata concentrazione operativa (pochi porti, poche navi), che riduce la ridondanza del sistema.
- Dipendenza da tempi di intervento lunghi in caso di guasti o incidenti sottomarini.

Opportunità

- Crescita strutturale della domanda di connettività digitale globale e di reti energetiche sottomarine.
- Sviluppo dell'eolico offshore e delle infrastrutture elettriche subsea, che rafforza il ruolo dei porti industriali.
- Rinnovo della flotta posacavi e repair come leva di rafforzamento della resilienza infrastrutturale.
- Maggiore attenzione istituzionale alla sicurezza e alla protezione delle infrastrutture critiche sottomarine.

Minacce

- Aumento delle tensioni geopolitiche e del rischio di incidenti o sabotaggi alle infrastrutture underwater.
- Possibili colli di bottiglia operativi in caso di eventi multipli o simultanei.
- Competizione globale per l'accesso a capacità specializzate (navi, porti, tecnologie).
- Ritardi negli investimenti portuali e infrastrutturali rispetto alla crescita della rete underwater.

Seconda parte

Filiera industriale, tecnologie e capacità operative

Capitolo 3.

La filiera manifatturiera attivata dall'underwater: struttura, posizionamento competitivo e mercati di riferimento

1. Premessa

Questo capitolo ha l'obiettivo di realizzare un primo tentativo di definizione e ricostruzione della filiera manifatturiera attivata dall'underwater[57], aprendo una nuova prospettiva di analisi su un ambito produttivo ancora poco esplorato nella sua dimensione complessiva.

Ci si propone di ricostruire in modo organico la filiera manifatturiera attivata dall'underwater, mettendone in evidenza la struttura produttiva, il posizionamento competitivo dell'Italia e i principali mercati di riferimento che ne sostengono la domanda. L'idea di fondo è che l'underwater non coincida con un comparto ristretto e autosufficiente, ma con una piattaforma produttiva più ampia, capace di attivare una parte significativa della manifattura avanzata. L'underwater, infatti, comprende oltre alle attività subacquee in senso stretto, anche l'insieme dei beni, delle tecnologie, dei mezzi e delle infrastrutture che rendono possibili le attività sottomarine e offshore.

In questa prospettiva, la filiera coinvolge una base produttiva articolata che comprende la cantieristica e i mezzi navali di supporto, i tubi e le strutture metalliche, la meccanica di processo, i sistemi di pompaggio e regolazione, i cavi elettrici e dati, la strumentazione, la sensoristica, la robotica e i sistemi di controllo.

All'interno di questo insieme, la robotica underwater rappresenta il nucleo tecnologico più diretto e riconoscibile della filiera, poiché abilita molte delle sue principali funzioni operative: controllo del fondale, ispezione, sicurezza, monitoraggio, posa dei cavi, supporto all'estrazione di risorse e gestione delle in-

[57] Per maggiori dettagli sul metodo di stima della filiera si rimanda all'appendice metodologica a pagina 145.

frastrutture sottomarine. Per questo motivo, l'analisi prende avvio dalla robotica underwater, utilizzando stime già disponibili per valutare la grandezza del nucleo tecnologico e per ancorare l'analisi a un segmento concreto e ben identificabile. A partire da questa impostazione, il capitolo si sviluppa analizzando il tessuto economico-produttivo nazionale e successivamente il posizionamento competitivo del Paese nel panorama internazionale.

In primo luogo, si ricostruisce la base socioeconomica nazionale della filiera attraverso i codici ATECO, così da misurarne la consistenza in termini di imprese, addetti, fatturato e valore aggiunto. Poi, si passa al posizionamento competitivo dell'Italia attraverso il perimetro della codifica doganale internazionale (codici HS6) e l'analisi dei flussi commerciali. La novità del lavoro permette di collegare la ricostruzione della dimensione socioeconomica all'analisi del posizionamento competitivo nel contesto dell'Unione Europea ed extra UE.

Questa struttura consente di articolare la filiera attivata dall'underwater in determinati nuclei industriali chiaramente identificabili: metallurgia e strutture, meccanica e automazione, cavi e apparati elettrici, strumentazione avanzata, cantieristica e attività di supporto.

Allo stesso tempo, il raccordo alla codifica doganale rende leggibile il passaggio dalla base produttiva nazionale alla successiva articolazione della filiera in aree funzionali e tecnologiche. In questo quadro, il contesto europeo e internazionale risulta un comparativo utile a collocare meglio il dato italiano e a comprendere se il profilo nazionale sia coerente con quello delle principali economie concorrenti o se presenti specializzazioni distintive.

Nel suo insieme, quindi il capitolo analizza il mercato cuore della robotica underwater (paragrafo 2), ricostruisce la consistenza economica della base produttiva nazionale (paragrafo 3) e sviluppa il profilo competitivo internazionale della filiera mediante l'analisi delle aree di riferimento (paragrafi 4 e 5).

Ovviamente, va infine sottolineato che la base socioeconomica nazionale e il profilo competitivo commerciale alimentano i grandi mercati attivati dall'underwater. Questa osservazione è essenziale, perché consente di ricordare come l'underwater non sia soltanto un segmento tecnologico specialistico o una filiera manifatturiera delimitata, ma una leva industriale che si innesta su mercati molto più vasti. I principali mercati attivati sono, innanzitutto, quelli dell'Oil & Gas e dell'ICT, ai quali si affiancano, in senso più ampio, l'energia offshore, le infrastrutture sottomarine, la cantieristica avanzata, la difesa e l'economia marittima. È in questi ambiti che il nucleo tecnologico della robotica underwater e la filiera manifatturiera che la sostiene trovano la propria domanda principale e la propria più ampia valorizzazione economica.

Nel complesso, l'analisi delinea il profilo di un'Italia che si configura come attore manifatturiero avanzato della filiera underwater. Il Paese combina una forte vocazione esportatrice, una specializzazione significativa nei macchinari e sistemi di processo, una presenza crescente nei segmenti tecnologici legati a energia, reti e digitalizzazione, e una marcata capacità di presidiare i mercati globali. La filiera appare un ecosistema industriale articolato, nel quale competenze meccaniche, elettriche, navali, infrastrutturali e tecnologiche concorrono a definire il posizionamento competitivo dell'Italia nello spazio sottomarino e offshore.

L'Italia dispone di un ecosistema complesso composto da grandi player, PMI, startup, università e istituzioni, che può rafforzare il posizionamento nazionale nella filiera underwater se sarà in grado di consolidare le tecnologie critiche, ridurre le dipendenze su componenti strategiche e accelerare il passaggio dai prototipi alle applicazioni operative.

2. Il mercato della robotica underwater: cuore tecnologico e di sviluppo della filiera

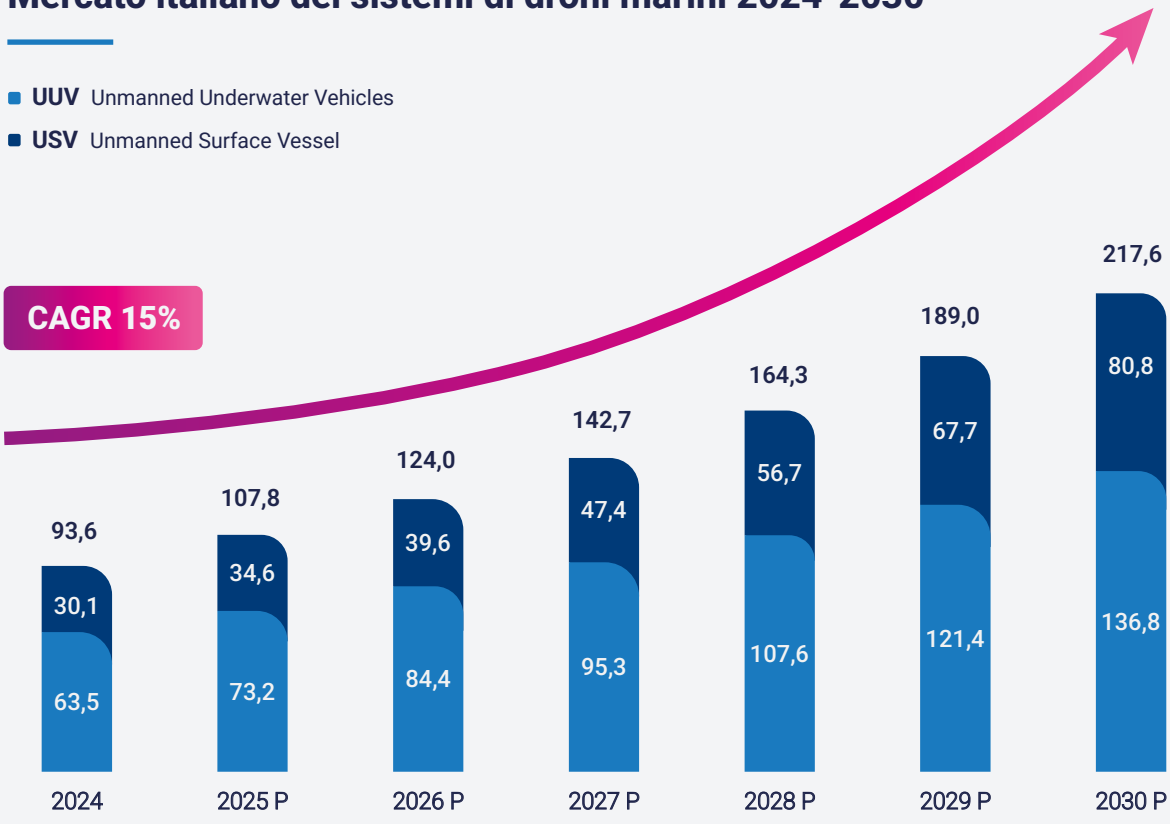
2.1 Il valore di mercato attuale e prospettico

Il mercato dei droni marini e subacquei, ricompreso nel più ampio perimetro dei Sea Drone Systems, rappresenta una delle componenti più dinamiche della filiera underwater. Il rapporto *PwC Strategy& Italy Above and Below Water Drones Market* (febbraio 2026) considera in questo ambito sia i veicoli subacquei senza equipaggio, UUV, sia i veicoli di superficie senza equipaggio, USV, oltre a piattaforme ibride e sistemi operanti sul fondale. Si tratta di tecnologie utilizzabili con diversi livelli di automazione, dal controllo remoto alle soluzioni semi-autonome e autonome, e indirizzate a una pluralità di utenti finali: governi, difesa, centri di ricerca, imprese industriali e operatori privati.

In particolare, il valore aggiornato stimato del mercato italiano è pari a 93,6 milioni di euro nel 2024, in aumento rispetto agli 76,2 milioni del 2023, con una previsione di 217,6 milioni nel 2030. Tale traiettoria implica un tasso medio annuo di crescita del 15%, sostanzialmente allineato alla dinamica globale, stimata al 16%.

Figura 14

Mercato italiano dei sistemi di droni marini 2024-2030



Fonte: SRM su PwC Strategy& Italy, 2026 (dati in milioni di euro)

Nel dettaglio, gli UUV (*Unmanned Underwater Vehicles*) mantengono la quota prevalente del mercato italiano: passano da 63,5 milioni di euro nel 2024 a 136,8 milioni nel 2030, con una quota attesa pari al 63% del totale. Gli USV (*Unmanned Surface Vessel*) presentano invece una base di partenza più contenuta, pari a 30,1 milioni nel 2024, ma crescono più rapidamente, fino a raggiungere una stima di 80,8 milioni nel 2030 e una quota del 37%. Questa dinamica segnala una doppia traiettoria: da un lato la centralità delle tecnologie subacquee per ispezione, monitoraggio, ricerca e difesa; dall'altro la crescente adozione di piattaforme di superficie per sorveglianza, pattugliamento, sicurezza portuale e missioni di supporto multi-dominio.

Lo scenario globale conferma la stessa direzione. Il mercato mondiale dei Sea Drone Systems è stimato in crescita da 7,8 miliardi di euro nel 2024 a 18,9 miliardi nel 2030. Gli UUV dovrebbero raggiungere 11,9 miliardi di euro nel 2030, mentre gli USV arriveranno a 7,0 miliardi. La crescita è sostenuta da tre driver principali: aumento della spesa in difesa e sicurezza, maggiore domanda di sorveglianza delle acque territoriali e delle zone economiche esclusive, avanzamenti tecnologici nella navigazione autonoma, nel controllo basato su intelligenza artificiale e nella sensoristica.

2.2 Tecnologie, applicazioni e sviluppo dell'ecosistema italiano

Uno degli aspetti più rilevanti del rapporto PwC è l'ampiezza del perimetro applicativo. I Sea Drone Systems possono essere utilizzati in oltre 50 casi d'uso riconducibili a sei missioni principali: militare e sicurezza, ricerca scientifica, ingegneria acquatica, search & rescue, applicazioni commerciali e ricreative, e spazio. Questa articolazione conferma che i droni underwater non costituiscono più una nicchia sperimentale, ma una famiglia di piattaforme abilitanti per attività industriali, ambientali, scientifiche e di sicurezza.

Le applicazioni più rilevanti riguardano la sorveglianza marittima, la guerra antisommergibile, le contromisure mine, la ricognizione subacquea, il monitoraggio ambientale, l'oceanografia, la mappatura dei fondali, l'ispezione di pipeline, la manutenzione di infrastrutture offshore, la ricerca e soccorso, il recupero di asset, l'acquacoltura, le riprese subacquee e il controllo di porti e coste. Nel caso italiano, tali applicazioni si collegano direttamente alle esigenze di protezione di cavi, condotte, infrastrutture energetiche offshore, porti, rotte marittime e asset industriali localizzati nello spazio marino e sottomarino.

Sul piano tecnologico, le direttrici più promettenti riguardano l'autonomia operativa, la navigazione autonoma, l'intelligenza artificiale per l'evitamento degli ostacoli, le comunicazioni subacquee, la sensoristica avanzata, i sistemi energetici, la propulsione elettrica o innovativa, i materiali per scafi e payload modulari. Queste tecnologie sono decisive per aumentare profondità operativa, durata delle missioni, capacità di raccolta dati, interoperabilità e affidabilità in ambienti difficili. Il rapporto evidenzia anche una progressiva convergenza tra domini, in particolare tra spazio, difesa, blue economy e tecnologie digitali, che amplia ulteriormente le prospettive di sviluppo del mercato.

Un tema trasversale è quello del dual-use. Le medesime piattaforme possono essere adattate a missioni civili e militari attraverso payload, sensori e software differenti. Un USV o un UUV può quindi essere impiegato per monitoraggio ambientale, ispezione di infrastrutture o raccolta dati, ma anche per sorveglianza, ricognizione e supporto a missioni di sicurezza. Questa flessibilità aumenta il potenziale di mercato, ma richiede anche un quadro regolatorio, certificativo e operativo più maturo.

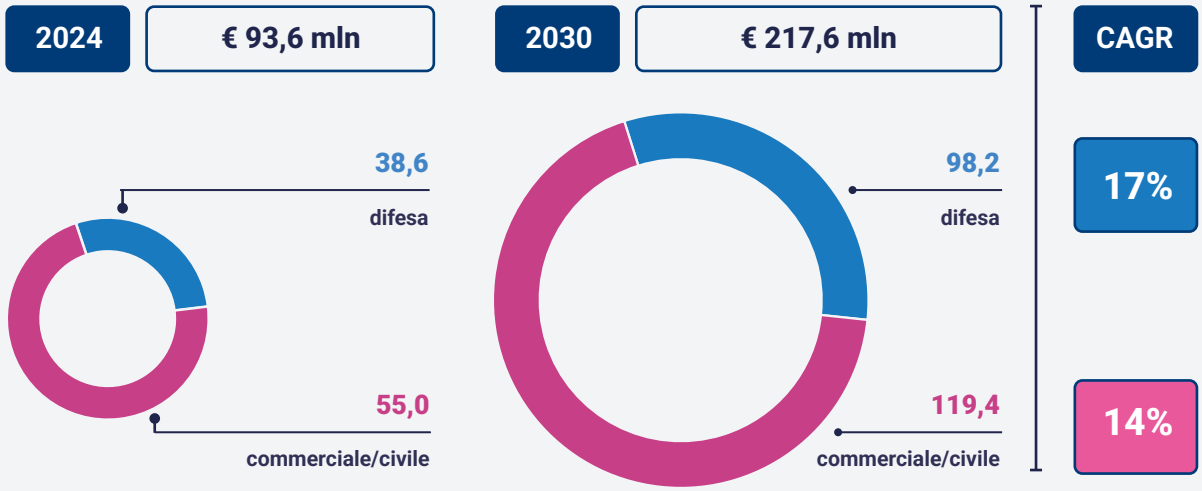
Il rapporto PwC attribuisce, inoltre, un ruolo centrale all'attivazione dell'ecosistema italiano. In Italia sono censite oltre 45 iniziative[58] e programmi attivi o recenti, distribuiti tra industria, ricerca, università e collaborazioni internazionali. Il Polo Nazionale della Dimensione Subacquea rappresenta il principale fattore di coordinamento e accelerazione. Il PNS è associato a 115 milioni di euro in bandi recenti, a una previsione di finanziamento pubblico superiore a 50 milioni di euro annui per dieci anni e al lancio, nel giugno 2025, di una call per 10 progetti di ricerca e sviluppo, cofinanziati al 50%, con primi prototipi attesi nel 2026. Il PNS agisce quindi come piattaforma di innovazione, favorendo sinergie tra grandi imprese, PMI, startup, università, centri di ricerca e amministrazioni pubbliche.

2.3 Difesa, sicurezza e prospettive di crescita

La domanda di soluzioni per difesa e sicurezza costituisce uno dei principali motori di crescita. In Italia le applicazioni defence valgono 38,6 milioni di euro nel 2024, pari al 41% del mercato nazionale, e sono attese a 98,2 milioni nel 2030, con un CAGR del 17%. Le applicazioni civili e commerciali restano comunque maggioritarie, passando da 55,0 milioni nel 2024 a 119,4 milioni nel 2030, pari al 55% del mercato previsto. Il mercato italiano mantiene quindi una prevalenza civile, ma con una componente defence e dual-use in progressivo rafforzamento.

Figura 15

Mercato italiano per utilizzatore finale



Fonte: SRM su PwC Strategy& Italy, Above and Below Water Drones Market, febbraio 2026 (dati in milioni di euro)

[58] Tra le progettualità industriali richiamate nel Rapporto PwC, figurano, tra le altre, SAND di Fincantieri Next Tech, Hydrone di Saipem Sonsub, Sea Drones di Graal Tech, CK-14 di Codevintec, Hugin 4500 di Kongsberg, PLUTO di Gaymarine, i componenti Novacavi, THE Keelcrab, Edge Lab, SETEL, DEEP SEE PROBE e la nave drone carrier Sciamano della Marina Militare. Sul versante della ricerca e dell'università emergono progetti quali MARIS, THESAURUS, WAVE, Folaga, DAMPS, PACMAN, Zeno AUV CrossLab, SWAMP ASV, SeaLab, WiMust, SeaExplorer, oltre al National Underwater Hub e al National Center for Sustainable Mobility - Maritime Spoke.

Il rafforzamento della componente defence è legato al mutamento del contesto geopolitico e alla crescente rilevanza della sicurezza delle infrastrutture critiche. **Cavi sottomarini, pipeline energetiche, porti, infrastrutture offshore e collegamenti dati rappresentano asset strategici da monitorare, proteggere e, se necessario, ripristinare rapidamente.** In questo ambito i droni marini e subacquei possono operare come sistemi di prevenzione, identificazione e risposta: raccolgono dati, effettuano sorveglianza, supportano ispezioni rapide e migliorano la consapevolezza situazionale underwater.

Il mercato dei droni marini e subacquei non esaurisce, pertanto, la rilevanza economica della dimensione underwater. Esso rappresenta piuttosto il nucleo tecnologicamente più avanzato di una filiera manifatturiera ampia e articolata, che coinvolge sistemi robotici, sensoristica, componentistica elettrica ed elettronica, cavi e connessioni, macchinari specializzati, infrastrutture offshore e mezzi navali di supporto. Si tratta di un ecosistema produttivo che già oggi genera un impatto economico significativo e contribuisce al posizionamento competitivo dell'Italia nei mercati internazionali. Nei paragrafi successivi l'analisi si concentrerà quindi sulla capacità del mercato underwater di attivare una filiera industriale di ampio spettro, evidenziandone le principali componenti manifatturiere, il valore economico e il ruolo strategico per il Paese.

In prospettiva, le opportunità di crescita per l'Italia dipenderanno dalla capacità di trasformare il fermento progettuale in capacità industriale scalabile. Ciò richiede il rafforzamento delle competenze manifatturiere su componenti critiche, come batterie, sensori, materiali, sistemi di comunicazione e software di autonomia; la collaborazione tra università, cantieri navali, PMI, startup e grandi imprese; il ricorso a fondi nazionali ed europei; e la costruzione di partenariati pubblico-privati per sperimentare e adottare soluzioni operative in porti, coste, infrastrutture energetiche e aree marine strategiche.

3. Il valore socioeconomico della filiera attivata dall'underwater

3.1 I dati socioeconomici

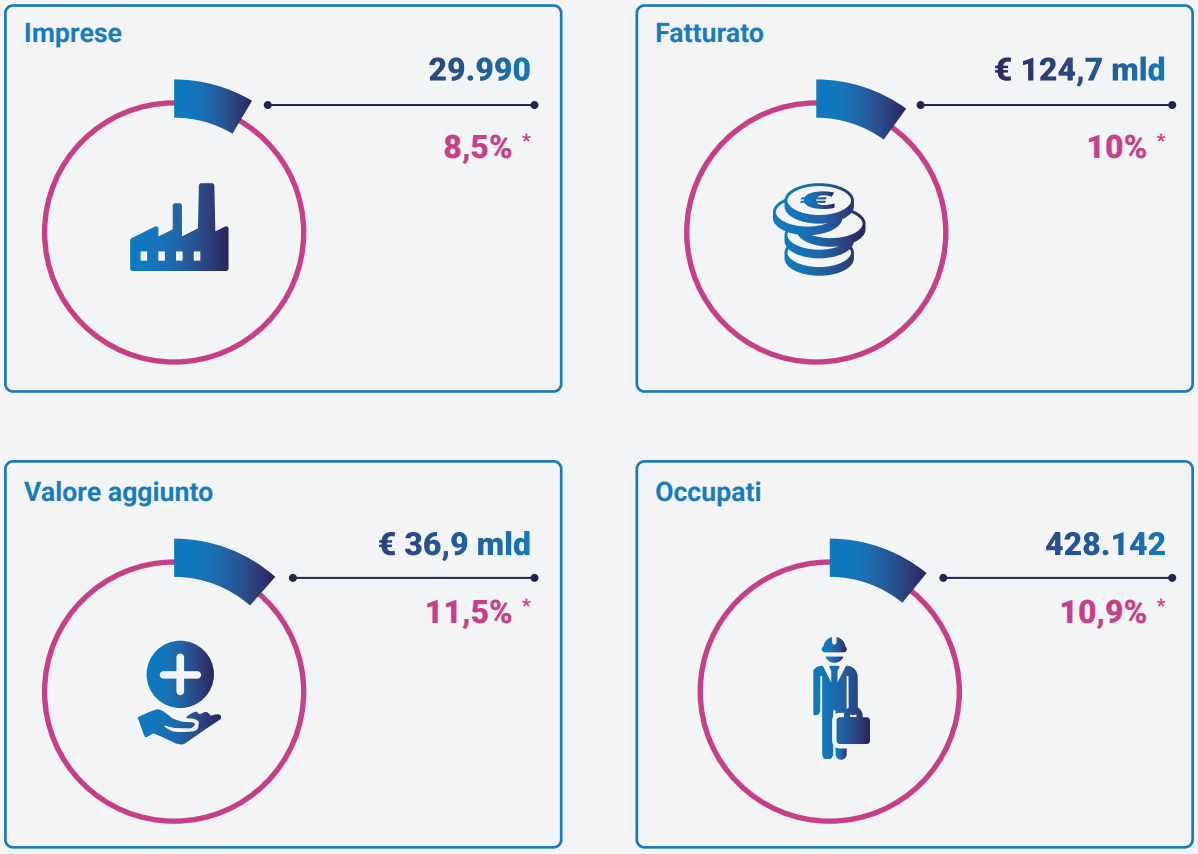
Il perimetro produttivo associato alla filiera connessa all'underwater[59] ha una dimensione significativa all'interno della manifattura italiana. Nel 2023 la filiera conta 29.990 imprese, genera circa 124,7 miliardi di euro di fatturato, 36,9 miliardi di euro di valore aggiunto e occupa oltre 428 mila addetti. Il suo peso sulla manifattura nazionale è rilevante: rappresenta l'8,5% delle imprese, ma incide in misura più elevata sul fatturato, pari al 10,0%, sul valore aggiunto, pari all'11,5%, e sugli occupati, pari al 10,9%.

Questo scarto tra la quota di imprese e il peso economico-occupazionale segnala una filiera composta da attività mediamente più strutturate rispetto alla media manifatturiera, capaci di generare un contributo proporzionalmente più elevato in termini di produzione, valore e lavoro. In altri termini, la filiera underwater non si distingue solo per ampiezza della base imprenditoriale, ma soprattutto per la sua rilevanza industriale.

[59] L'analisi assume come riferimento la classificazione ATECO 2025; tuttavia, in assenza della piena disponibilità dei dati Istat secondo la nuova classificazione alla data di elaborazione, in alcuni passaggi si è fatto ricorso all'ATECO 2007 (agg. 2022), utilizzando le relative tavole di raccordo. I dati impiegati derivano prioritariamente dalle banche dati di Istat ed Eurostat, al fine di garantire qualità statistica, confrontabilità e ufficialità dei risultati.

Figura 16

Alcuni dati economici della filiera connessa all'underwater. Anno 2023



* Peso sulla manifattura.

Fonte: SRM su dati Eurostat

3.2 La scomposizione della filiera

La scomposizione interna mette in evidenza la centralità di alcuni nuclei produttivi, con una distribuzione non omogenea tra numero di imprese, fatturato, valore aggiunto e occupazione. La componente dei **Macchinari e sistemi di processo subsea e offshore**, riconducibile alla meccanica e alla fluidodinamica, si conferma il principale asse economico della filiera. Pur contando 6.799 imprese, pari al 22,7% del totale, questa area genera 52,1 miliardi di euro di fatturato, ossia il 41,8% del valore complessivo della filiera, e 15,7 miliardi di euro di valore aggiunto, pari al 42,7%. Anche sul piano occupazionale il suo peso è rilevante, con 166.590 addetti, pari al 38,9% del totale. Si tratta dunque dell'area a maggiore intensità economica della filiera, nella quale rientrano pompe, compressori, valvole e sistemi di movimentazione, cioè produzioni strettamente collegate al funzionamento operativo degli impianti e delle attività in ambiente marino e offshore.

Accanto alla meccanica, un ruolo importante è svolto dalle **infrastrutture offshore per risorse ed energia**, riconducibili alla metallurgia, ai tubi e alle strutture metalliche. Questa componente rappresenta la prima area per numerosità imprenditoriale, con 11.862 imprese, pari al 39,6% del totale della filiera. Il suo contributo economico è comunque significativo: genera 26,6 miliardi di euro di fatturato, pari al 21,3%, 8,3 miliardi di euro di valore aggiunto, pari al 22,5%, e occupa 114.163 addetti, pari al 26,7% del totale. Il dato conferma il ruolo di questa area come base materiale e infrastrutturale della filiera, includendo condotte, raccordi, strutture e componenti destinati agli impianti energetici e produttivi in mare.

Di particolare interesse è anche l'area dei **Cavi sottomarini e sistemi elettrici di connessione,** che intercetta la componente elettrica, digitale e di comunicazione della filiera. Con 4.641 imprese, pari al 15,5% del totale, il comparto genera 29,5 miliardi di euro di fatturato, corrispondenti al 23,7% della filiera, e 7,7 miliardi di euro di valore aggiunto, pari al 21,0%. Gli occupati sono 80.609, cioè il 18,8% del totale. Il peso economico dell'area, superiore alla sua incidenza in termini di imprese, conferma l'importanza crescente delle reti energetiche, delle connessioni dati, dei sistemi elettrici e delle infrastrutture di trasmissione nello sviluppo dello spazio sottomarino.

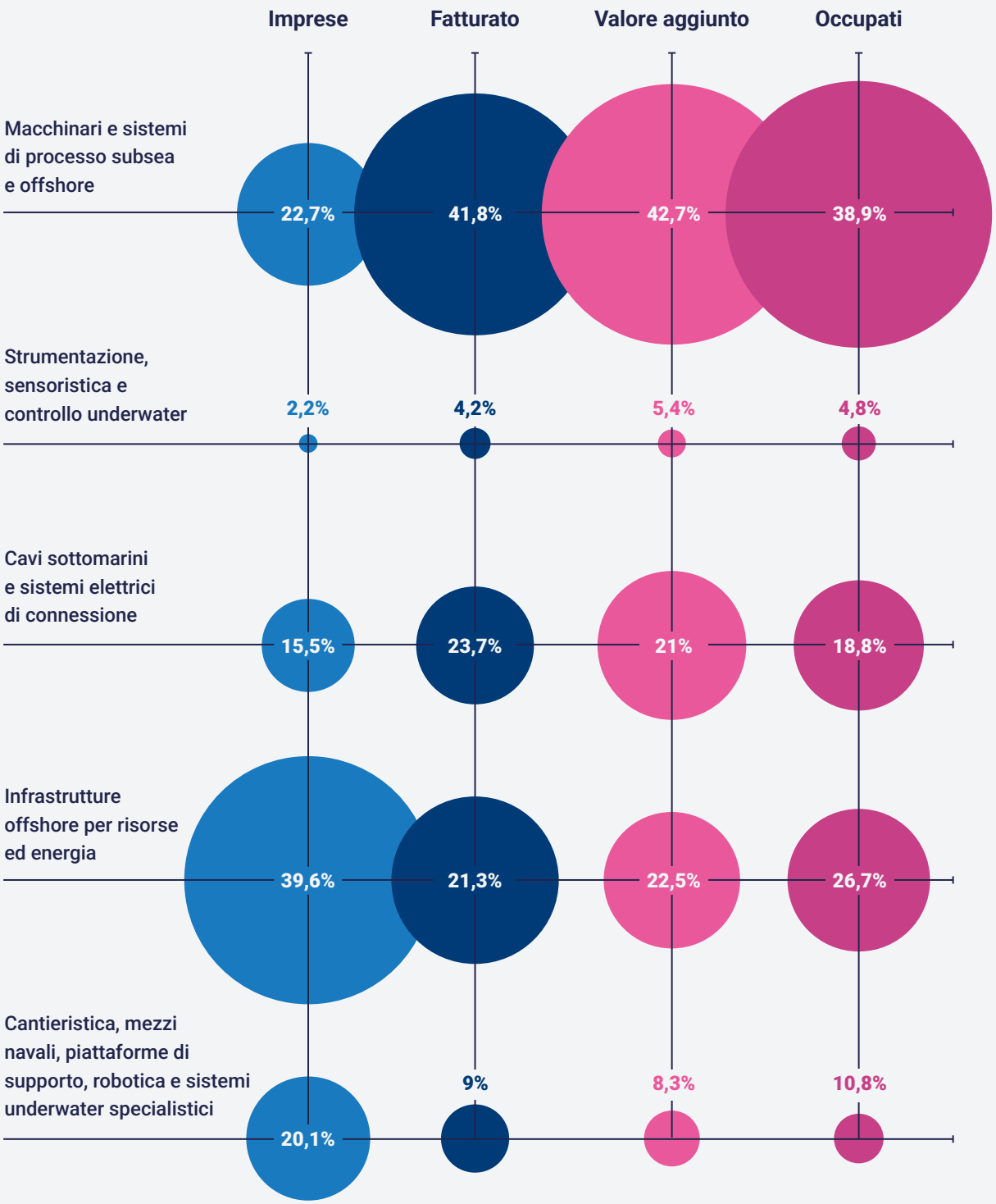
Più contenuta in termini dimensionali, ma strategica sotto il profilo tecnologico, è la componente della **Strumentazione, sensoristica e controllo underwater**. Essa conta 669 imprese, pari al 2,2% del totale, genera 5,3 miliardi di euro di fatturato, pari al 4,2%, e 2,0 miliardi di euro di valore aggiunto, pari al 5,4%. Gli occupati sono 20.338, il 4,8% del totale della filiera. Il fatto che il peso sul valore aggiunto sia superiore a quello sulle imprese segnala una maggiore intensità tecnologica e una capacità di generare valore relativamente elevata. Il comparto rappresenta quindi una leva qualificante per l'evoluzione della filiera, poiché include strumenti di misura, controllo, navigazione, monitoraggio e analisi, fondamentali per la sicurezza operativa e la gestione dei sistemi sottomarini.

Si evidenzia inoltre il ruolo della macroarea **Cantieristica, mezzi navali, piattaforme di supporto, robotica e sistemi underwater specialistici**, che integra attività cantieristiche, mezzi navali, macchine speciali, manutenzione e supporto operativo. Questa area conta 6.019 imprese, pari al 20,1% del totale, ma incide in misura più contenuta sul piano economico, con 11,2 miliardi di euro di fatturato, pari al 9,0%, e 3,1 miliardi di euro di valore aggiunto, pari all'8,3%. Gli occupati sono 46.442, pari al 10,8% della filiera. Si tratta di un'area eterogenea, nella quale convivono produzioni a elevato valore unitario, attività di servizio, manutenzione, supporto operativo, unità navali specializzate e sistemi utilizzati nelle operazioni marine e sottomarine. Proprio questa eterogeneità spiega un peso imprenditoriale relativamente elevato, ma una minore incidenza sul fatturato complessivo rispetto alle aree più strettamente manifatturiere e industriali.

Nel complesso, la struttura della filiera evidenzia una forte concentrazione del valore nelle componenti più industriali: macchinari, cavi e sistemi elettrici e infrastrutture offshore generano insieme circa l'86,8% del fatturato e l'86,2% del valore aggiunto della filiera. Al tempo stesso, le aree più specialistiche, come la sensoristica e la componente navale-robotica, svolgono un ruolo qualitativo rilevante, perché presidiano funzioni tecnologiche, operative e di supporto indispensabili allo sviluppo dell'economia underwater.

Figura 17

Scomposizione in macroaree della filiera connessa all'underwater rispetto ad alcuni dati economici. Anno 2023



Fonte: SRM su dati Eurostat

3.3 Alcune tendenze

L'evoluzione tra il 2015 e il 2023 mostra una filiera complessivamente più dinamica della manifattura. Mentre il numero di imprese manifatturiere si riduce del 9%, quello della filiera underwater aumenta del 7%. Anche il fatturato cresce più della media manifatturiera, con un incremento del 47% contro il 41% della manifattura, così come l'occupazione, che aumenta del 15% contro l'8%. Il valore aggiunto cresce del 49%, un dato sostanzialmente in linea con la manifattura, che registra un incremento del 51%.

Questi risultati segnalano una traiettoria espansiva della filiera, che rafforza la propria base imprenditoriale e occupazionale e consolida la propria capacità di generare valore. La crescita più intensa di imprese, fatturato e occupati rispetto alla manifattura conferma che il perimetro underwater intercetta segmenti produttivi in trasformazione, collegati alla domanda di infrastrutture offshore, tecnologie marine, connessioni energetiche e digitali, sistemi industriali avanzati e servizi di supporto.

Le dinamiche interne, tuttavia, sono molto differenziate. I macchinari e sistemi di processo subsea e offshore mostrano una riduzione del numero di imprese, pari al -9%, ma una crescita molto sostenuta di fatturato, valore aggiunto e occupati, rispettivamente +49%, +49% e +20%. Questo andamento suggerisce un processo di consolidamento produttivo: il comparto perde operatori, ma rafforza la propria dimensione economica e occupazionale, segnalando la presenza di imprese mediamente più strutturate o più produttive.

La strumentazione, sensoristica e controllo underwater rappresenta invece l'area più critica. Tra il 2015 e il 2023 registra una contrazione del numero di imprese, pari al -14%, una riduzione del fatturato del -7%, una sostanziale stabilità del valore aggiunto e una forte diminuzione degli occupati, pari al -26%. Si tratta di un segnale da monitorare con attenzione, perché riguarda un segmento strategico per il contenuto tecnologico della filiera e per le attività di monitoraggio, misura, controllo e sicurezza operativa in ambiente sottomarino.

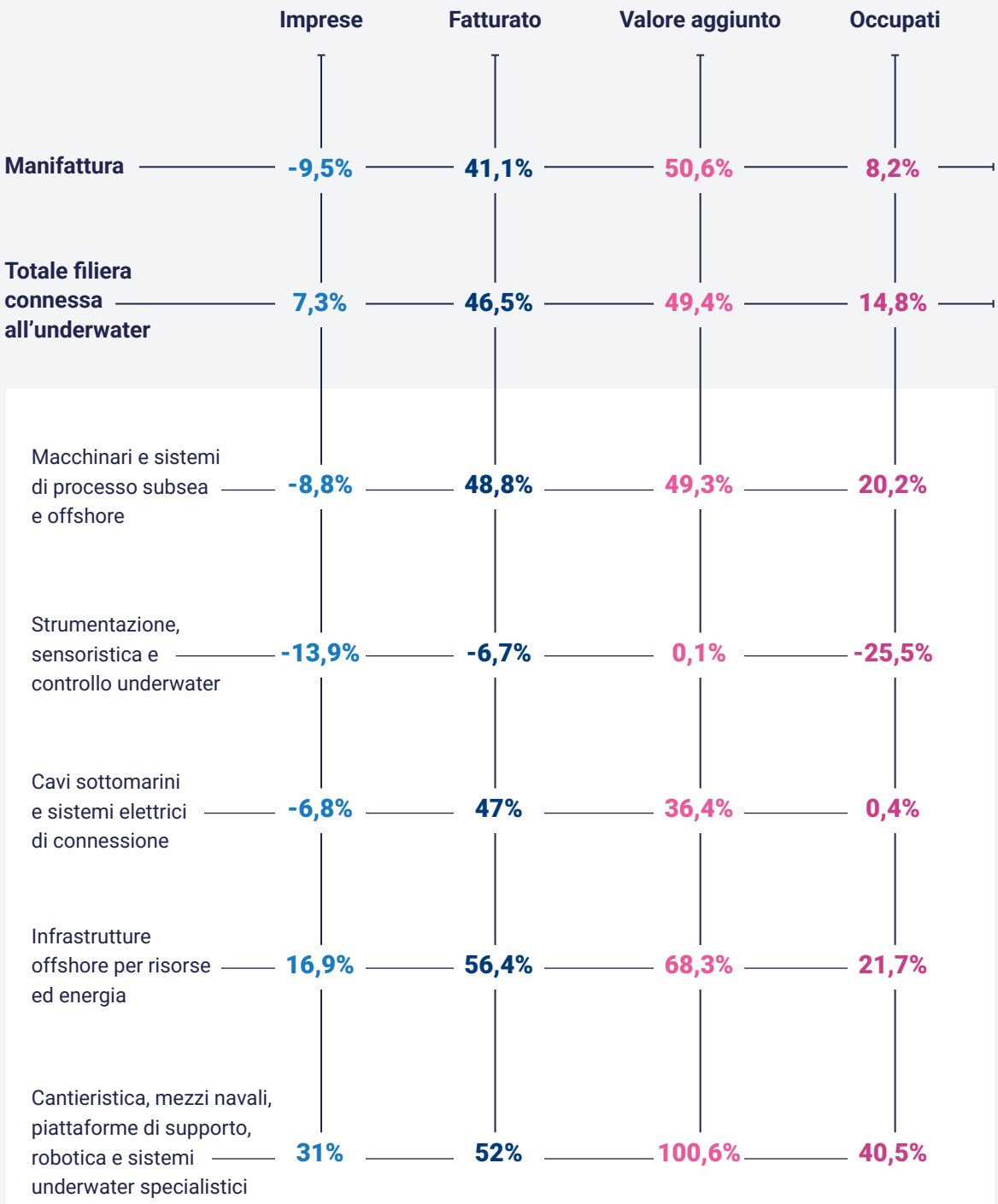
L'area dei cavi sottomarini e sistemi elettrici di connessione presenta una dinamica positiva sul piano economico, pur in presenza di una riduzione del numero di imprese. Le imprese diminuiscono del 7%, ma il fatturato cresce del 47% e il valore aggiunto del 36%, mentre l'occupazione resta sostanzialmente stabile. Il dato suggerisce un rafforzamento economico del comparto, probabilmente associato a una maggiore scala produttiva, a processi di efficientamento o a una ricomposizione verso produzioni a più alto valore.

Le infrastrutture offshore per risorse ed energia mostrano una crescita solida e diffusa su tutti gli indicatori: imprese +17%, fatturato +56%, valore aggiunto +68% e occupati +22%. Questa dinamica conferma il rafforzamento della componente metallurgica, strutturale e infrastrutturale della filiera, coerentemente con l'aumento della domanda di componenti e soluzioni per impianti offshore, reti energetiche e infrastrutture marine.

Particolarmente rilevante è, infine, la performance della macroarea mezzi navali, piattaforme di supporto, robotica e sistemi underwater specialistici, che cresce su tutti gli indicatori: imprese +31%, fatturato +52%, valore aggiunto +101% e occupati +40%. Il raddoppio del valore aggiunto segnala un forte salto qualitativo ed economico dell'area, che sembra beneficiare sia della crescita delle attività navali e di supporto operativo, sia dell'integrazione con macchine speciali, robotica e sistemi specialistici per l'ambiente underwater.

Figura 18

Alcuni dati economici della filiera connessa all'underwater. Variazione 2015-2023



Fonte: SRM su dati Eurostat

4. Commercio internazionale, specializzazioni e mercati di riferimento della filiera

4.1 Il commercio internazionale: caratteristiche e tendenze

Nel 2025 l'Italia occupa un ruolo di rilievo nel commercio internazionale della filiera connessa all'underwater[60]. Le esportazioni italiane ammontano a 35,2 miliardi di euro, pari all'11,6% dell'export complessivo dell'UE27, mentre le importazioni si attestano a 17,8 miliardi di euro, con un'incidenza del 7,5% sul totale europeo.

Il confronto tra export e import evidenzia una chiara vocazione esportatrice del sistema produttivo nazionale. L'Italia registra infatti un saldo commerciale ampiamente positivo, pari a circa 17,4 miliardi di euro, segnale di una capacità competitiva consolidata nei comparti riconducibili all'economia underwater.

Anche il peso della filiera sul commercio complessivo conferma questa specializzazione: l'underwater rappresenta il 5,5% dell'export totale italiano, una quota superiore a quella osservata per l'UE27, pari al 4,5%. Al contrario, l'incidenza sull'import nazionale, pari al 3,0%, è inferiore al dato europeo del 3,6%. Ne emerge un profilo dell'Italia più orientato alla produzione e alla vendita sui mercati esteri che alla dipendenza da forniture internazionali.

L'analisi dell'evoluzione temporale mostra un rafforzamento della filiera italiana soprattutto nel periodo più recente. Tra il 2019 e il 2025, l'export dell'Italia cresce del 32,6%, superando lievemente la dinamica dell'UE27, pari al 30,3%. Questo dato segnala una crescente capacità del sistema italiano di intercettare la domanda internazionale negli ultimi anni.

La crescita delle importazioni è ancora più intensa: nel periodo 2019-2025 l'import italiano aumenta del 47,0%, rispetto al 42,7% dell'UE27. Tale andamento suggerisce una crescente integrazione della filiera nazionale nelle catene globali di fornitura, anche a supporto della capacità produttiva ed esportatrice del Paese.

Il confronto con il periodo 2015-2019 evidenzia anche un **evidente cambio di passo**. In quegli anni, l'export italiano era cresciuto solo del 6,7%, a fronte del 21,2% europeo. La successiva accelerazione indica quindi un recupero competitivo dell'Italia e un rafforzamento del suo posizionamento nella filiera underwater.

[60] Il raccordo tra aree produttive ATECO e aree di filiera nel posizionamento internazionale è costruito secondo una logica di prevalenza funzionale, così da mantenere leggibile e ordinato il passaggio dalla base socioeconomica nazionale alla successiva analisi del posizionamento competitivo e per evitare duplicazioni e mantenere un raccordo formale tra i codici. In particolare, si segnala che l'area produttiva "Cantieristica, mezzi navali, piattaforme di supporto, robotica e sistemi underwater specialistici" individuata nel paragrafo precedente, è ora suddivisa in due aree di filiera, rispettivamente, "Robotica e sistemi underwater specialistici" e "Mezzi navali e piattaforme di supporto".

Figura 19

Commercio internazionale della filiera connessa all'underwater. Confronto tra Italia e Unione Europea

Anno 2025	Export	Import
Italia	€ 35,2 mld 5,5% *	€ 17,8 mld 3% *
UE27	€ 303,8 mld 4,5% *	€ 237,6 mld 3,6% *
Peso Italia su UE27	11,6%	7,5%

* % sul totale.

Variazione 2015-2019	Export	Import
Italia	6,7%	19,5%
UE27	21,2%	27,2%

Variazione 2019-2025	Export	Import
Italia	32,6%	47,0%
UE27	30,3%	42,7%

Fonte: SRM su dati Eurostat

4.2 La specializzazione settoriale della filiera underwater italiana

La composizione settoriale della filiera collegata all'underwater italiano evidenzia una struttura produttiva articolata, ma con alcune specializzazioni particolarmente marcate (**Tabella 4**).

Il principale contributo all'export proviene dai **Macchinari e sistemi di processo subsea e offshore**, che con 15,8 miliardi di euro rappresentano circa il 45% delle esportazioni complessive della filiera. Anche il saldo commerciale del comparto è particolarmente elevato, pari a circa 10,3 miliardi di euro. Si tratta quindi del segmento che più sostiene l'avanzo commerciale della filiera italiana. Il peso dell'Italia sull'export UE27, pari al 19%, conferma inoltre una specializzazione significativa in tecnologie industriali quali pompe, valvole, compressori, sistemi di sollevamento e componentistica di processo.

Un secondo comparto di rilievo è quello dei **cavi sottomarini e sistemi elettrici di connessione**, con 8,0 miliardi di euro di export e 5,8 miliardi di import. Il saldo resta positivo, pari a circa 2,2 miliardi di euro, ma il livello elevato delle importazioni segnala una forte integrazione del comparto nelle catene internazionali di fornitura. La crescita del 119% dell'export e del 107% dell'import tra il 2015 e il 2025 indica un'espansione molto sostenuta sia della capacità di vendita all'estero sia del fabbisogno di componenti, semilavorati e tecnologie importate. Questo comparto appare quindi strategico non solo per il contributo all'export, ma anche per il suo legame con la trasformazione energetica, le reti elettriche e le connessioni digitali sottomarine.

La **Robotica e sistemi underwater specialistici** rappresentano il terzo comparto per valore esportato, con 4,4 miliardi di euro, a fronte di 1,6 miliardi di import. Il saldo positivo, pari a circa 2,8 miliardi di euro, indica una buona capacità dell'Italia di posizionarsi su segmenti tecnologici avanzati. Il peso sull'export UE27, pari al 13%, è superiore al peso sull'import europeo, pari al 7%, segnalando una specializzazione più marcata dal lato della produzione e della vendita internazionale. Tuttavia, la crescita dell'import, pari al 70% tra il 2015 e il 2025, superiore a quella dell'export, pari al 22%, suggerisce anche un aumento della dipendenza da tecnologie e componenti esteri in un ambito ad alta intensità innovativa.

La **Strumentazione, sensoristica e controllo underwater** presenta invece un profilo più equilibrato tra export e import. Le esportazioni ammontano a 2,70 miliardi di euro, mentre le importazioni raggiungono 2,73 miliardi, generando un saldo leggermente negativo, pari a circa -32 milioni di euro. Questo è l'unico comparto, insieme ai mezzi navali e piattaforme di supporto, in cui l'Italia mostra un lieve disavanzo commerciale. Il dato evidenzia una minore specializzazione relativa rispetto ad altri segmenti della filiera: il peso dell'Italia sull'export UE27 è infatti pari al 6%, mentre quello sull'import è dell'8%. Pur in presenza di una crescita dell'export del 42% tra il 2015 e il 2025, la struttura del comparto segnala una dipendenza ancora rilevante da forniture estere in tecnologie di misura, controllo, navigazione e analisi.

Le **Infrastrutture offshore per risorse ed energia** contribuiscono con 3,6 miliardi di euro di export e 1,4 miliardi di import, generando un saldo positivo di circa 2,2 miliardi di euro. Il comparto presenta un peso dell'Italia sull'export UE27 pari all'11%, superiore a quello sull'import, pari al 6%, confermando una buona capacità produttiva nazionale. Da segnalare è però la forte crescita dell'import nel periodo 2015-2025, pari al 121%, molto superiore alla crescita dell'export, pari al 26%. Questo andamento può riflettere una maggiore domanda interna di componenti e strutture offshore, una crescente integrazione nelle catene di fornitura europee e internazionali o la presenza di commesse specifiche legate a infrastrutture energetiche e industriali.

Infine, i **Mezzi navali e piattaforme di supporto** mostrano valori assoluti più contenuti, con 611 milioni di euro di export e 621 milioni di import, e un saldo lievemente negativo, pari a circa -10 milioni di euro. Tuttavia, il comparto presenta un peso molto elevato sul commercio europeo: l'Italia rappresenta il 29% dell'export UE27 e il 36% dell'import UE27. Questo dato suggerisce un ruolo significativo del Paese in specifiche nicchie del comparto navale e delle piattaforme specializzate. Le variazioni molto elevate tra il 2015 e il 2025, pari al +1.144% per l'export e al +793% per l'import, vanno interpretate con cautela, poiché il settore è caratterizzato da flussi discontinui, commesse pluriennali e beni di elevato valore unitario.

La distribuzione geografica degli scambi mette in evidenza una caratteristica distintiva dell'Italia: **la maggiore proiezione verso i mercati extra-europei rispetto alla media UE.** Il 56% dell'export italiano della filiera underwater è infatti destinato a paesi extra-UE, contro il 45% registrato dall'UE27.

Tabella 4

Scomposizione settoriale della filiera connessa all'underwater italiana. Anno 2025

	Export			Import		
	Valore mln €	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025	Valore mln €	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025
Robotica e sistemi underwater specialistici	4.398	13%	22%	1.645	7%	70%
Strumentazione, sensoristica e controllo underwater	2.700	6%	42%	2.732	8%	40%
Cavi sottomarini e sistemi elettrici di connessione	8.001	7%	119%	5.813	6%	107%
Macchinari e sistemi di processo subsea e offshore	15.849	19%	24%	5.527	9%	51%
Infrastrutture offshore per risorse ed energia	3.632	11%	26%	1.432	6%	121%
Mezzi navali e piattaforme di supporto	611	29%	1.144%	621	36%	793%
Totale filiera	**35.191**	**12%**	**42%**	**17.770**	**7%**	**76%**

Fonte: SRM su dati Eurostat

Questa apertura internazionale è particolarmente marcata nei comparti a più elevato contenuto tecnologico e industriale. In robotica e sistemi underwater specialistici, strumentazione e sensoristica e macchinari subsea e offshore, la quota di export italiano verso mercati extra-UE raggiunge il 61%. Ciò conferma la capacità delle imprese italiane di competere non solo nel mercato europeo, ma anche su scala globale. Diverso è il caso dei mezzi navali e piattaforme di supporto, dove prevale nettamente la componente intra-UE, pari al 76% dell'export. Questo suggerisce una maggiore concentrazione delle vendite verso specifici mercati europei.

Sul lato import, invece, l'Italia presenta una struttura molto simile a quella europea: il 65% degli acquisti italiani proviene da paesi intra-UE, a fronte del 64% dell'UE27. La filiera italiana appare quindi orientata ai mercati globali per l'export, ma ancora fortemente integrata nello spazio europeo per gli approvvigionamenti.

Tabella 5

Commercio intra ed extra UE27 dell'Italia della filiera connessa all'underwater. Un confronto con il dato europeo

	Export				Import			
	Italia		UE27		Italia		UE27	
	intra UE27	extra UE27	intra UE27	extra UE27	intra UE27	extra UE27	intra UE27	extra UE27
Robotica e sistemi underwater specialistici	39%	61%	49%	51%	75%	25%	63%	37%
Strumentazione, sensoristica e controllo underwater	39%	61%	47%	53%	66%	34%	57%	43%
Cavi sottomarini e sistemi elettrici di connessione	56%	44%	61%	39%	63%	37%	62%	38%
Macchinari e sistemi di processo subsea e offshore	39%	61%	50%	50%	63%	37%	67%	33%
Infrastrutture offshore per risorse ed energia	43%	57%	61%	39%	63%	37%	72%	28%
Mezzi navali e piattaforme di supporto	76%	24%	52%	48%	83%	17%	53%	47%
Totale filiera	**44%**	**56%**	**55%**	**45%**	**65%**	**35%**	**64%**	**36%**
Totale merci	**51%**	**49%**	**61%**	**39%**	**57%**	**43%**	**62%**	**38%**

Fonte: SRM su dati Eurostat

Perfezionamento attivo e passivo: il ruolo delle lavorazioni internazionali

I dati sul perfezionamento attivo e passivo consentono di cogliere un aspetto specifico della filiera underwater italiana: il grado di coinvolgimento in operazioni internazionali di lavorazione, trasformazione, riparazione, manutenzione o completamento produttivo. In questo quadro, i flussi di re-export e re-import non vanno letti come semplici scambi commerciali ordinari, ma come indicatori della presenza di beni che attraversano i confini nazionali nell'ambito di processi produttivi articolati e spesso ad alto contenuto tecnico.

Nel 2025, secondo i dati UN Comtrade[61], l'export complessivo della filiera underwater italiana raggiunge 39,8 miliardi di dollari, a fronte di importazioni pari a 20,1 miliardi di dollari. Anche questa fonte conferma un profilo fortemente esportatore della filiera. Tuttavia, rispetto ai flussi ordinari di export e import, le operazioni di re-export e re-import presentano valori più contenuti: il re-export ammonta complessivamente a 467 milioni di dollari, mentre il re-import raggiunge 665 milioni di dollari.

Il valore relativamente limitato del re-export indica che la filiera underwater italiana non si configura prevalentemente come piattaforma di riesportazione di beni importati senza trasformazioni sostanziali. Al contrario, la competitività del Paese sembra poggiare soprattutto su una base produttiva nazionale, capace di generare export diretto in comparti chiave quali macchinari e sistemi di processo subsea e offshore, cavi sottomarini e sistemi elettrici di connessione, robotica e infrastrutture offshore. In altri termini, il dato conferma che l'Italia ha preciso ruolo manifatturiero e tecnologico nella filiera.

Il re-export assume comunque un certo rilievo in alcuni comparti. In particolare, i valori più elevati si osservano nelle infrastrutture offshore per risorse ed energia, con 220 milioni di dollari, e nei macchinari e sistemi di processo subsea e offshore, con 124 milioni di dollari. Questo può segnalare la presenza di componenti, strutture, apparecchiature o sistemi che vengono importati, eventualmente integrati o trattati, e successivamente riesportati verso mercati esteri. Si tratta di dinamiche coerenti con una filiera complessa, nella quale alcune imprese possono operare come nodi di assemblaggio, integrazione, distribuzione tecnica o completamento di forniture destinate a progetti offshore e subsea internazionali.

Il re-import misura il rientro in Italia di beni precedentemente esportati, spesso dopo lavorazioni, trasformazioni, riparazioni o manutenzioni effettuate all'estero. Il valore complessivo di 665 milioni di dollari suggerisce quindi l'esistenza di alcuni processi produttivi e operativi non lineari, nei quali alcuni beni della filiera underwater vengono temporaneamente inviati fuori dal Paese per poi rientrare nel circuito nazionale.

[61] In questo focus si utilizzano i dati UN Comtrade in quanto forniscono le informazioni di dettaglio sul traffico di perfezionamento. I dati sono quindi espressi in dollari, ma sono totalmente congruenti a quelli dell'Eurostat.

La concentrazione del re-import nei mezzi navali e piattaforme di supporto è l'elemento più rilevante della tabella: questo comparto registra infatti 511 milioni di dollari. Il dato è particolarmente significativo perché coerente con le caratteristiche del settore navale e offshore, dove i beni hanno spesso elevato valore unitario e possono essere oggetto di operazioni complesse quali manutenzioni straordinarie, riparazioni, adeguamenti tecnici, refitting, trasformazioni o completamenti presso cantieri e strutture specializzate localizzate anche all'estero.

In questo senso, il re-import nei mezzi navali rappresenta un indicatore della natura internazionale e project-based della filiera. Navi speciali, piattaforme, unità di supporto e mezzi destinati ad attività offshore possono infatti seguire cicli operativi lunghi e discontinui, con passaggi tra diversi paesi in funzione delle esigenze di costruzione, manutenzione, impiego operativo o riconfigurazione tecnica.

Nel complesso, la lettura dei dati sul perfezionamento attivo e passivo conferma che la filiera underwater italiana è trainata soprattutto da export e import ordinari, ma evidenzia anche la presenza di segmenti coinvolti in catene operative internazionali più complesse. Il re-export segnala il ruolo dell'Italia come possibile nodo di integrazione e redistribuzione tecnica in alcuni comparti industriali, mentre il re-import, soprattutto nei mezzi navali e piattaforme di supporto, riflette la natura globale, specialistica e discontinua delle lavorazioni legate alle attività marine e offshore.

Perfezionamento attivo e passivo della filiera connessa all'underwater italiana. Anno 2025

Macroarea della filiera underwater	Export	Import	Re-export	Re-import
Robotica e sistemi underwater specialistici	4.970	1.858	55	6
Strumentazione, sensoristica e controllo underwater	3.051	3.087	42	23
Cavi sottomarini e sistemi elettrici di connessione	9.041	6.568	25	73
Macchinari e sistemi di processo subsea e offshore	17.909	6.246	124	23
Infrastrutture offshore per risorse ed energia	4.104	1.619	220	29
Mezzi navali e piattaforme di supporto	690	702	-	511
Totale filiera	**39.765**	**20.080**	**467**	**665**

Fonte: SRM su dati UN Comtrade (dati in milioni di dollari)

5. La geografia dei mercati: destinazioni dell'export e fonti di approvvigionamento

5.1 I principali mercati di destinazione e approvvigionamento

La geografia commerciale della filiera underwater italiana mostra un equilibrio tra mercati europei consolidati e grandi mercati extra-europei. Sul lato dell'export, i principali paesi di destinazione sono Germania e Stati Uniti, con quote rispettivamente pari all'11,7% e all'11,1%. Seguono Francia, Spagna e Regno Unito.

La presenza degli Stati Uniti tra i primi mercati di sbocco conferma la competitività dell'Italia nei mercati avanzati e ad alta domanda tecnologica. Allo stesso tempo, il ruolo della Germania e della Francia evidenzia la solidità dei legami commerciali con il sistema industriale europeo.

Dal lato delle importazioni, la Germania rappresenta il principale fornitore dell'Italia, con una quota del 25,9%, seguita dalla Cina, con il 13,9%. Questa configurazione riflette una duplice integrazione della filie-

Tabella 6

I primi 5 mercati di sbocco e di approvvigionamento. Filiera connessa all'underwater

	Export				Import		
	Peso su tot. export Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025		Peso su tot. import Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025
Germania	11,7%	10%	52,1%	Germania	25,9%	11,3%	57,6%
Stati Uniti	11,1%	14%	82,2%	Cina	13,9%	7,9%	98,6%
Francia	7,5%	15%	56,1%	Paesi Bassi	5,4%	7,3%	106,4%
Spagna	4,7%	16%	122,8%	Francia	5,4%	10,3%	32,9%
Regno Unito	4,2%	11%	20,3%	Stati Uniti	5,3%	8,0%	45,2%
Mondo	**100,0%**	**12%**	**41,6%**	**Mondo**	**100,0%**	**7,5%**	**75,7%**

Fonte: SRM su dati Eurostat

ra: da un lato con le catene produttive europee, in particolare tedesche; dall'altro con le forniture asiatiche, soprattutto cinesi, rilevanti per componentistica, sistemi elettrici e beni intermedi.

Nel complesso, l'Italia pesa per il 12% sull'export UE27 della filiera, ma solo per il 7,5% sull'import europeo, confermando ancora una volta una specializzazione più marcata sul versante esportatore.

5.2 La geografia dei flussi commerciali per singole aree della filiera

Analizzando per singole macroaree della filiera emerge che, nel comparto della **Robotica e sistemi underwater specialistici**, l'Italia mostra una buona capacità di presidio dei mercati tecnologicamente avanzati. Gli Stati Uniti sono il primo mercato di destinazione, con il 15,2% dell'export italiano del comparto e un peso pari al 17% sull'export UE27 verso tale mercato. Seguono Germania, Francia, Regno Unito e Spagna, a conferma di una geografia commerciale diversificata tra Nord America ed Europa. Le dinamiche di crescita sono positive soprattutto verso Germania e Spagna, dove l'export italiano aumenta rispettivamente dell'88,4% e del 101,7% tra il 2015 e il 2025.

Tabella 7

I primi 5 mercati di sbocco e di approvvigionamento. Robotica e sistemi underwater specialistici

	Export				Import		
	Peso su tot. export Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025		Peso su tot. import Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025
Stati Uniti	15,2%	17%	30,0%	Germania	35,2%	11,5%	73,4%
Germania	8,8%	11%	88,4%	Cina	7,9%	4,5%	91,7%
Francia	6,6%	17%	48,5%	Stati Uniti	6,0%	8,2%	62,4%
Regno Unito	4,2%	11%	75,5%	Paesi Bassi	5,5%	9,4%	204,5%
Spagna	4,2%	13%	101,7%	Svezia	4,6%	13,9%	48,2%
Mondo	**100,0%**	**13%**	**21,6%**	**Mondo**	**100,0%**	**7,5%**	**69,9%**

Fonte: SRM su dati Eurostat

Sul fronte degli approvvigionamenti, la Germania si conferma il principale partner, con il 35,2% dell'import italiano, seguita da Cina, Stati Uniti, Paesi Bassi e Svezia. Il comparto appare quindi caratterizzato da una buona capacità esportatrice, ma anche da un'elevata integrazione in filiere internazionali ad alto contenuto tecnologico.

Il comparto della **Strumentazione, sensoristica e controllo underwater** presenta una struttura commerciale più distribuita e un peso italiano sull'UE meno elevato rispetto ad altri segmenti della filiera. Gli Stati Uniti e la Germania sono i principali mercati di destinazione, entrambi con una quota dell'11,0% sull'export italiano del comparto. Seguono Francia, Cina e Regno Unito.

Il peso dell'Italia sull'export UE27 mondiale del comparto è pari al 6%, inferiore alla media della filiera complessiva. Tuttavia, la crescita dell'export italiano tra il 2015 e il 2025, pari al 42,1%, indica un progressivo rafforzamento competitivo.

Anche sul lato import emerge una forte integrazione con i principali poli tecnologici internazionali. La Germania è il primo fornitore, con il 33,6% degli acquisti italiani, seguita da Stati Uniti, Francia, Paesi Bassi e Cina.

Tabella 8

I primi 5 mercati di sbocco e di approvvigionamento. Strumentazione sensoristica e controllo underwater

	Export				Import		
	Peso su tot. export Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025		Peso su tot. import Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025
Stati Uniti	11,0%	6%	17,8%	Germania	33,6%	14,3%	29,2%
Germania	11,0%	7%	88,6%	Stati Uniti	13,0%	9,5%	37,6%
Francia	6,5%	8%	26,3%	Francia	7,8%	12,3%	59,1%
Cina	5,6%	4%	10,1%	Paesi Bassi	6,8%	8,9%	34,8%
Regno Unito	5,1%	7%	9,8%	Cina	6,1%	6,7%	64,5%
Mondo	**100,0%**	**6%**	**42,1%**	**Mondo**	**100,0%**	**8,2%**	**39,7%**

Fonte: SRM su dati Eurostat

Il comparto si configura quindi come un'area nella quale l'Italia dispone di competenze esportatrici in crescita, pur mantenendo una significativa dipendenza da fornitori esteri specializzati.

Il comparto dei **Cavi sottomarini e sistemi elettrici di connessione** rappresenta una delle aree più dinamiche della filiera underwater italiana. Tra il 2015 e il 2025, l'export cresce del 118,8%, mentre l'import aumenta del 107,1%. Queste dinamiche riflettono l'espansione della domanda di infrastrutture elettriche, reti di connessione e sistemi tecnologici per l'ambiente marino e sottomarino.

La Germania è il primo mercato di destinazione, con il 19,1% dell'export italiano del comparto. Seguono Francia e Stati Uniti, entrambi con una quota del 10,9%. Particolarmente rilevante è la crescita delle esportazioni verso la Francia, pari al 327,5%, e verso la Germania, pari al 158,4%.

Sul lato import, i principali fornitori sono ancora Germania e Cina, con quote rispettivamente del 23,2% e del 16,5%. Da segnalare anche il ruolo della Tunisia, che pur incidendo per il 3,2% sull'import italiano, rappresenta un mercato in cui l'Italia pesa per il 23,1% sull'import UE27. Il dato suggerisce l'esistenza di legami produttivi e di fornitura specifici tra l'Italia e alcuni paesi del Mediterraneo.

Tabella 9

I primi 5 mercati di sbocco e di approvvigionamento. Cavi sottomarini e sistemi elettrici di connessione

	Export				Import		
	Peso su tot. export Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025		Peso su tot. import Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025
Germania	19,1%	7%	158,4%	Germania	23,2%	9,9%	76,6%
Francia	10,9%	13%	327,5%	Cina	16,5%	6,0%	123,6%
Stati Uniti	10,9%	10%	133,1%	Paesi Bassi	8,6%	7,9%	171,3%
Regno Unito	5,0%	9%	79,9%	Francia	5,3%	8,5%	94,8%
Svizzera	3,8%	15%	52,7%	Tunisia	3,2%	23,1%	49,8%
Mondo	**100,0%**	**7%**	**118,8%**	**Mondo**	**100,0%**	**6,0%**	**107,1%**

Fonte: SRM su dati Eurostat

I **Macchinari e sistemi di processo subsea e offshore** costituiscono il principale asse di specializzazione dell'Italia nella filiera underwater. Il comparto è il primo per valore esportato e presenta un peso particolarmente elevato sul commercio europeo: l'Italia rappresenta il 19% dell'export UE27 del segmento.

Gli Stati Uniti sono il primo mercato di destinazione, con il 10,8% dell'export italiano e una quota pari al 23% dell'export UE27 verso quel mercato. Seguono Germania, Arabia Saudita, Francia e Cina. Il dato dell'Arabia Saudita è particolarmente significativo: l'Italia copre il 54% dell'export UE27 verso il paese, confermando un posizionamento molto forte nei mercati legati all'energia, all'Oil & Gas e alle infrastrutture offshore.

Anche Francia e Germania mostrano una presenza italiana rilevante, con quote rispettivamente del 21% e del 17% sull'export UE27 verso tali mercati. Sul lato import, Germania e Cina restano i principali fornitori, con quote del 26,8% e del 17,4%.

Il comparto conferma quindi il ruolo dell'Italia come produttore ed esportatore di beni industriali complessi, sostenuto da competenze consolidate in macchinari, pompe, valvole, sistemi di movimentazione e componentistica specializzata.

Tabella 10

I primi 5 mercati di sbocco e di approvvigionamento. Macchinari e sistemi di processo subsea e offshore

	Export				Import		
	Peso su tot. export Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025		Peso su tot. import Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025
Stati Uniti	10,8%	23%	10,0%	Germania	26,8%	11,8%	45,4%
Germania	9,6%	17%	55,2%	Cina	17,4%	13,1%	75,8%
Arabia Saudita	6,5%	54%	25,0%	Francia	5,9%	11,1%	-3,1%
Francia	6,3%	21%	64,7%	Stati Uniti	5,3%	8,0%	46,9%
Cina	5,2%	15%	-0,3%	Belgio	3,5%	10,6%	27,4%
Mondo	**100,0%**	**19%**	**24,4%**	**Mondo**	**100,0%**	**9,0%**	**50,8%**

Fonte: SRM su dati Eurostat

Nel comparto delle **Infrastrutture offshore per risorse ed energia**, l'Italia mostra una crescita positiva dell'export, pari al 25,6% tra il 2015 e il 2025, accompagnata da un aumento molto più intenso dell'import, pari al 121,3%. Questa dinamica segnala una crescente integrazione della filiera nazionale con fornitori esteri e, al tempo stesso, una possibile espansione della domanda interna o delle attività produttive collegate al comparto.

I principali mercati di destinazione sono Germania, Stati Uniti, Francia, Norvegia e Paesi Bassi. La presenza della Norvegia tra i primi sbocchi appare coerente con la specializzazione del paese nelle attività energetiche offshore. La Germania rappresenta il primo mercato, con il 10,8% dell'export italiano e una crescita del 109,7% rispetto al 2015.

Sul fronte import, accanto a Germania e Cina emergono Grecia, Spagna e Romania, tutte caratterizzate da incrementi molto sostenuti. In particolare, l'import dalla Grecia cresce del 2.165,1%, mentre quello dalla Spagna aumenta del 420,9%. Si tratta di variazioni molto elevate, che possono riflettere commesse specifiche, riorganizzazioni delle catene di fornitura o operazioni puntuali di importazione di beni ad alto valore unitario.

Tabella 11

I primi 5 mercati di sbocco e di approvvigionamento. Infrastrutture offshore per risorse ed energia

	Export				Import		
	Peso su tot. export Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025		Peso su tot. import Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025
Germania	10,8%	8%	109,7%	Germania	19,3%	8,9%	196,8%
Stati Uniti	9,8%	16%	14,3%	Cina	17,3%	9,9%	156,2%
Francia	8,5%	13%	66,7%	Grecia	8,2%	30,4%	2.165,1%
Norvegia	6,4%	16%	65,1%	Spagna	8,1%	13,1%	420,9%
Paesi Bassi	5,3%	10%	7,8%	Romania	5,5%	26,1%	261,6%
Mondo	**100,0%**	**11%**	**25,6%**	**Mondo**	**100,0%**	**6,5%**	**121,3%**

Fonte: SRM su dati Eurostat

Il comparto dei **Mezzi navali e piattaforme di supporto** presenta valori assoluti più contenuti rispetto agli altri segmenti della filiera, ma, come già evidenziato, rappresenta una delle aree in cui il peso relativo dell'Italia in Europa è più elevato. Il Paese incide infatti per il 29% sull'export UE27 mondiale e per il 36,1% sull'import UE27 mondiale del comparto. La geografia dell'export è fortemente concentrata. La Spagna assorbe il 73,9% delle esportazioni italiane del comparto e l'Italia rappresenta il 97% dell'export UE27 verso questo mercato. Seguono Libia, Malta, Qatar e Turkmenistan. Anche nel caso della Libia, l'Italia copre il 100% dell'export UE27, indicando una posizione dominante, sebbene probabilmente legata a specifiche commesse o operazioni puntuali. La concentrazione è evidente anche sul lato import: la Spagna rappresenta il 72,8% degli acquisti italiani e l'Italia pesa per il 96,1% sull'import UE27 da questo paese. Le variazioni percentuali molto elevate, soprattutto nel caso della Spagna, vanno interpretate con cautela, poiché il comparto navale è spesso caratterizzato da flussi discontinui, commesse pluriennali e beni di elevato valore unitario. Nonostante ciò, i dati confermano un ruolo molto rilevante dell'Italia nel segmento dei mezzi navali e delle piattaforme specializzate.

Tabella 12

I primi 5 mercati di sbocco e di approvvigionamento. Mezzi navali e piattaforme di supporto

	Export				Import		
	Peso su tot. export Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025		Peso su tot. import Italia	Peso Italia su UE27	Var. 2015 2025
Spagna	73,9%	97%	52,1%	Spagna	72,8%	96,1%	*
Libia	22,8%	100%	82,2%	Danimarca	6,4%	84,1%	*
Malta	1,9%	82%	56,1%	Vietnam	5,4%	34,2%	343,7%
Qatar	0,8%	96%	122,8%	Qatar	5,0%	100,0%	
Turkmenistan	0,2%	100%	20,3%	Paesi Bassi	3,7%	13,8%	136,6%
Mondo	**100,0%**	**29%**	**41,6%**	**Mondo**	**100,0%**	**36,1%**	**792,9%**

Fonte: SRM su dati Eurostat

* Importi nulli nel 2015.

La ricerca italiana sulla dimensione underwater: patrimonio di conoscenze in evoluzione

Negli ultimi anni la crescente rilevanza strategica della dimensione underwater ha favorito un progressivo rafforzamento delle attività di ricerca e analisi dedicate a questo settore. Università, centri di ricerca, istituzioni e imprese stanno contribuendo alla costruzione di un patrimonio conoscitivo sempre più articolato, indispensabile per comprendere un ecosistema nel quale convergono sicurezza, innovazione tecnologica, industria, ricerca scientifica e sviluppo economico.

In tale contesto si inserisce il **1° Rapporto Nazionale sulla Dimensione Subacquea Italiana 2026 – Il sistema produttivo dell'underwater: temi, tecnologie e imprese.** Prima individuazione delle consistenze economiche, realizzato dall'**Osservatorio Nazionale sull'Economia del Mare – OsserMare**, con il contributo scientifico del Centro Studi delle Camere di Commercio G. Tagliacarne, in collaborazione con il Polo Nazionale della Dimensione Subacquea (PNS), Unioncamere e Assonautica Italiana.

L'iniziativa rappresenta un significativo contributo al percorso di costruzione di una base conoscitiva nazionale dedicata all'ecosistema underwater, attraverso un primo censimento e una prima ricostruzione del sistema produttivo italiano operante in questo ambito.

La crescente disponibilità di studi e analisi conferma come l'underwater sia ormai riconosciuto quale dominio strategico per il futuro del Paese e come la sua comprensione richieda approcci multidisciplinari, capaci di integrare aspetti economici, industriali, logistici, tecnologici, scientifici e geopolitici.

Il presente Rapporto SRM si colloca in questo scenario con una prospettiva complementare, concentrando l'attenzione sulle implicazioni economiche e geopolitiche della dimensione underwater, sul ruolo delle infrastrutture critiche sottomarine, dei porti, delle filiere industriali e delle connessioni con il Mediterraneo e le catene globali del valore. L'obiettivo è contribuire ad ampliare il quadro conoscitivo disponibile, offrendo un ulteriore punto di osservazione su un settore destinato ad assumere un'importanza crescente nelle strategie nazionali ed europee.

Capitolo 4.

L’ecosistema industriale dell’underwater: settori, capacità e attori strategici

1. Premessa

L’underwater rappresenta oggi uno dei settori più dinamici e strategici dell’economia marittima, grazie alla sua capacità di integrare tecnologie avanzate, esigenze energetiche globali e nuove opportunità industriali. Le filiere che gravitano attorno al mondo sottomarino sono molteplici e interconnesse, generando un ecosistema complesso che coinvolge grandi gruppi industriali, centri di ricerca, operatori energetici, fornitori di servizi e istituzioni nazionali e internazionali.

Tra le aree più rilevanti rientra lo **sfruttamento diretto delle risorse sottomarine**, che comprende l’estrazione offshore di petrolio, gas e minerali critici attraverso piattaforme, sistemi subacquei e tecnologie di perforazione sempre più sofisticate.

Parallelamente, il settore del **trasporto di risorse energetiche e dati** si fonda su vaste reti di gasdotti e oleodotti sottomarini, nonché sull’infrastruttura globale dei cavi per telecomunicazioni.

A queste attività si affianca la **realizzazione di veicoli navali di supporto**, come navi specializzate per posa tubi, mezzi di rifornimento e unità di supporto logistico, indispensabili per operazioni complesse in ambienti marini estremi.

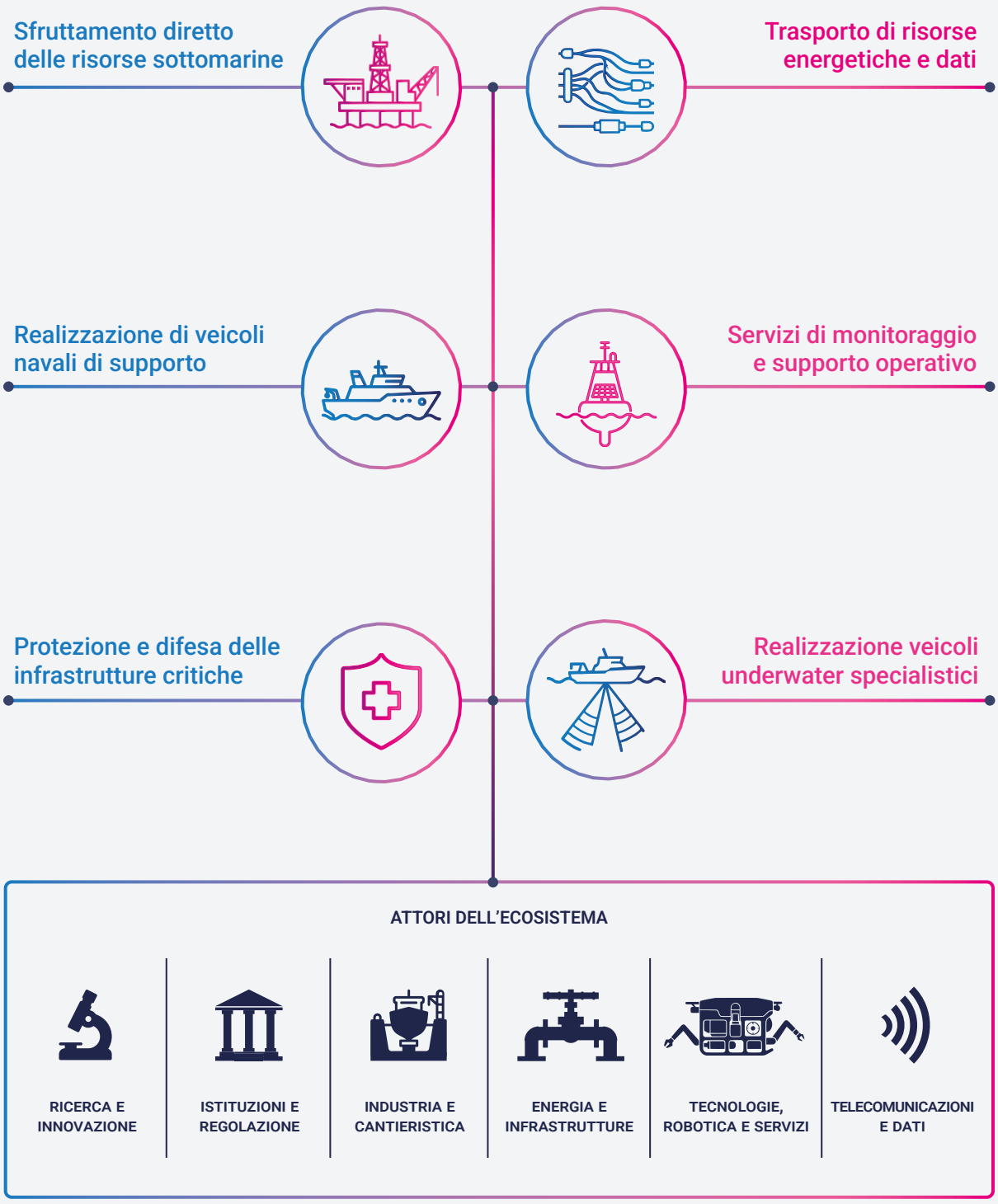
Crescente è il ruolo dei **servizi di monitoraggio e supporto operativo**, che impiegano droni marini, ROV, AUV, sensori e piattaforme digitali per garantire continuità operativa, sicurezza e manutenzione predittiva delle infrastrutture sottomarine.

La dimensione underwater assume inoltre crescente rilevanza sul piano della **protezione**, della sorveglianza e della resilienza delle **infrastrutture critiche** poiché infrastrutture come gasdotti e dorsali di cavi, rappresentano asset critici esposti a rischi geopolitici, cyber e ambientali: qui entrano in gioco sistemi di sorveglianza avanzata, tecnologie sonar e veicoli autonomi a scopo militare.

Infine, un settore in rapida espansione è quello della **realizzazione di veicoli underwater specialistici**, fondamentali per operazioni di esplorazione, ispezione, intervento e raccolta dati, utilizzati sia in ambito industriale sia nella ricerca scientifica.

Figura 20

L’ecosistema industriale underwater



Fonte: SRM su Fincantieri

2. Sfruttamento diretto delle risorse sottomarine

2.1 Oil & Gas

L'estrazione offshore di petrolio e gas costituisce una delle catene industriali più articolate e avanzate a livello globale, caratterizzata da un'elevata intensità di capitale, da una complessità tecnologica significativa e da una forte integrazione interdisciplinare. In tale contesto confluiscono competenze che spaziano dall'ingegneria alla geologia, dalla logistica alla robotica, fino alla gestione della sicurezza e alla tutela ambientale, il tutto coordinato attraverso una supply chain internazionale altamente strutturata. L'intero ciclo operativo del settore si articola in tre macro-fasi fondamentali: l'esplorazione e valutazione delle risorse, lo sviluppo e la produzione, e infine il trattamento, il trasporto e la logistica. Ciascuna di queste fasi presenta specificità tecniche e organizzative che contribuiscono alla complessità del sistema offshore.

2.1.1 Esplorazione e valutazione delle risorse

Il processo esplorativo offshore prende avvio da studi geologici preliminari finalizzati all'identificazione delle aree potenzialmente ricche di idrocarburi. Tale attività si fonda sull'analisi integrata di dati storici geologici e geofisici, sulla costruzione di modelli interpretativi della dinamica delle placche tettoniche e sulla lettura delle evoluzioni dei bacini sedimentari. L'obiettivo è individuare le cosiddette trappole geologiche, strutture naturali idonee all'accumulo di idrocarburi e quindi sfruttabili dal punto di vista economico. In questa fase operano le principali compagnie energetiche internazionali, sia private sia statali, supportate da istituzioni nazionali che regolano le attività esplorative attraverso concessioni e sistemi di licenza.

Alla fase preliminare segue la prospezione geofisica, che rappresenta il cuore delle attività di esplorazione offshore. La tecnica più diffusa è la sismica a riflessione, mediante la quale è possibile ottenere immagini tridimensionali ad alta risoluzione del sottosuolo marino. Navi specializzate, equipaggiate con sistemi di acquisizione avanzati e lunghe linee di sensori, emettono onde acustiche che, riflettendosi sugli strati rocciosi, consentono la ricostruzione delle strutture geologiche profonde. Questo segmento è dominato da operatori altamente specializzati nella raccolta e nell'elaborazione dei dati, mentre la produzione delle tecnologie è affidata a costruttori di apparecchiature ad alte prestazioni.

L'analisi dei dati acquisiti avviene mediante software sofisticati di interpretazione sismica e modellazione geologica. Le compagnie energetiche integrano tali informazioni con dati di pozzo e modelli multidisciplinari per stimare con maggiore precisione le caratteristiche dei giacimenti, quali pressione, temperatura e proprietà petrofisiche. Si sviluppano così modelli statici, che descrivono la struttura geologica, e modelli dinamici, che simulano il comportamento dei fluidi nel tempo. Questa fase è cruciale per valutare la fattibilità tecnica ed economica dei progetti e per ridurre l'incertezza decisionale. Operano in questo ambito sia provider indipendenti di dati sismici sia grandi società di servizi upstream che offrono piattaforme integrate per l'analisi e la simulazione.

In caso di risultati promettenti, si procede alla perforazione dei pozzi esplorativi, attività che consente di verificare direttamente la presenza di idrocarburi e di raccogliere campioni di roccia e fluidi. Le operazioni sono condotte da contractor offshore che utilizzano diverse tipologie di unità di perforazione, adattate alle condizioni ambientali e alle profondità operative. Le società di servizi forniscono supporto tecnico in attività di misura, cementazione, gestione dei fluidi e controllo delle pressioni.

2.1.2 Sviluppo e produzione

La fase di sviluppo e produzione riguarda la trasformazione della scoperta in un sistema produttivo operativo. In questa fase si definiscono gli aspetti progettuali del giacimento, quali il numero e la tipologia dei pozzi, le infrastrutture da installare e i sistemi di trattamento e trasporto degli idrocarburi.

La progettazione coinvolge un ampio numero di specialisti e richiede tempi lunghi, data la complessità tecnica e normativa delle operazioni offshore. Le attività di ingegneria, approvvigionamento, costruzione e installazione vengono generalmente affidate a contractor internazionali che gestiscono l'intero ciclo realizzativo, coordinando catene di fornitura globali.

La costruzione delle piattaforme rappresenta uno degli elementi centrali di questa fase. Le installazioni offshore possono essere fisse o galleggianti, a seconda della profondità del fondale e delle condizioni ambientali. Le piattaforme fisse, ancorate al fondale, sono utilizzate in acque relativamente basse e garantiscono grande stabilità. In acque profonde, invece, si adottano soluzioni galleggianti, come le FPSO o le piattaforme semisommergibili. La realizzazione di tali strutture è affidata a cantieri specializzati e a contractor con competenze avanzate nella progettazione offshore.

La perforazione dei pozzi di sviluppo segue la fase di costruzione delle infrastrutture ed è finalizzata all'ottimizzazione della produzione. I pozzi possono essere verticali, deviati o orizzontali, con configurazioni avanzate nei casi più complessi. Una volta completati, vengono dotati di sistemi di sicurezza e apparecchiature per il controllo dei flussi.

La produzione prevede il risalire degli idrocarburi attraverso sistemi assistiti da pompe e compressori, mentre la piattaforma gestisce le operazioni di trattamento primario, come la separazione delle fasi e la reiniezione dell'acqua.

Le infrastrutture sottomarine comprendono numerosi componenti, tra cui sistemi di testa pozzo, condotte e linee di collegamento. Le attività di posa e manutenzione sono affidate a operatori specializzati che utilizzano tecnologie avanzate, inclusi veicoli robotici subacquei. Grande importanza riveste inoltre la sicurezza operativa, garantita da sistemi di monitoraggio continuo, sensori e dispositivi di protezione come i BOP. Le installazioni offshore sono soggette a normative stringenti e controlli da parte di autorità nazionali e organismi di certificazione, che assicurano il rispetto degli standard internazionali.

2.1.3 Trattamento, trasporto e logistica

Una volta avviata la produzione, gli idrocarburi vengono sottoposti a processi di trattamento iniziale per renderli idonei al trasporto. Sulle piattaforme si effettuano operazioni di separazione delle diverse fasi, stabilizzazione dell'olio, compressione del gas e rimozione dell'umidità. Questi processi sono essenziali per garantire la sicurezza e l'efficienza delle fasi successive. Il gas può essere reiniettato nel giacimento, esportato tramite gasdotti o trasformato in forma liquida per il trasporto via nave.

La gestione degli impianti di trattamento e delle unità galleggianti può essere affidata direttamente alle compagnie petrolifere o a operatori specializzati tramite contratti di leasing e servizi. Le attività di manutenzione e gestione operativa richiedono competenze dedicate e un'elevata affidabilità tecnica per garantire la continuità produttiva.

Il supporto logistico rappresenta un elemento fondamentale della filiera offshore. Le basi costiere fungono da hub operativi per lo stoccaggio dei materiali e il coordinamento delle attività.

Il trasporto del personale è assicurato principalmente da elicotteri, mentre le navi di supporto garantiscono il rifornimento delle piattaforme e il trasporto delle attrezzature. A queste si aggiungono mezzi specializzati per la sicurezza e la gestione delle emergenze ambientali.

Infine, le attività di ispezione, manutenzione e riparazione sono svolte da società specializzate che impiegano tecnologie avanzate, tra cui veicoli telecomandati e sistemi autonomi. L'insieme di queste infrastrutture e servizi consente di mantenere elevati livelli di efficienza operativa e sicurezza, assicurando la continuità delle attività in un contesto complesso e altamente competitivo come quello dell'industria offshore.

2.2 Deep Sea Mining

Il deep sea mining (DSM) rappresenta l'insieme delle attività industriali finalizzate all'esplorazione, alla estrazione, al sollevamento, al trasporto e al trattamento delle risorse minerarie presenti sui fondali oceanici a grandi profondità, generalmente oltre i 200 metri. Tale pratica si configura come una delle nuove frontiere dell'industria estrattiva globale, poiché consente di accedere a materie prime strategiche quali nichel, cobalto, rame, manganese e terre rare, indispensabili per lo sviluppo di batterie, componenti elettronici e tecnologie energetiche avanzate. I principali giacimenti si presentano sotto forma di noduli polimetallici, solfuri idrotermali e croste ferromanganesifere, generalmente localizzati in aree oceaniche profonde come la Clarion-Clipperton Zone.

La filiera del deep sea mining si distingue per una complessità tecnica e operativa particolarmente elevata, derivante dalla necessità di operare in ambienti remoti, caratterizzati da pressioni estreme, condizioni ambientali severe e conoscenze ancora limitate sotto il profilo biologico ed ecologico. Le operazioni di estrazione si basano sull'impiego di veicoli o cingolati che raccolgono i materiali dal fondale e li convogliano verso la superficie attraverso sistemi verticali di pompaggio. Tali sistemi devono garantire continuità operativa e affidabilità strutturale lungo l'intera colonna d'acqua, assicurando al contempo la movimentazione efficiente di grandi quantità di materiale.

Nonostante l'interesse crescente, il deep sea mining rimane un ambito altamente controverso, soprattutto per le potenziali implicazioni ambientali. Tra le principali criticità figurano la perdita di biodiversità, il disturbo degli ecosistemi profondi e la dispersione di sedimenti lungo la colonna marina. In risposta a queste problematiche, l'International Seabed Authority (ISA) è impegnata nella definizione di un quadro regolatorio internazionale, noto come "Mining Code", volto a disciplinare le attività estrattive nelle acque internazionali. Il processo normativo è tuttavia ancora in evoluzione e riflette un dibattito articolato che coinvolge Stati, comunità scientifica e operatori industriali, con l'obiettivo di bilanciare le opportunità economiche con la tutela degli ecosistemi marini.

2.2.1 Esplorazione e valutazione delle risorse

La fase esplorativa del deep sea mining prende avvio con studi geologici preliminari basati sulla mappatura del fondale oceanico mediante tecnologie avanzate quali sonar multifascio e sistemi acustici. Queste attività consentono di individuare le aree con maggiore concentrazione di depositi minerari, come noduli polimetallici o solfuri massivi. Le regioni di maggiore interesse includono la Clarion-Clipperton Zone, nota per l'elevata presenza di metalli critici. La caratterizzazione dei depositi avviene inoltre attraverso campionamenti diretti eseguiti mediante veicoli subacquei e carotaggi, che permettono di analiz-

zare la composizione e le proprietà dei sedimenti. In questa fase, l'International Seabed Authority svolge un ruolo centrale, in quanto responsabile del rilascio delle licenze esplorative nelle aree al di fuori delle giurisdizioni nazionali.

La prospezione geofisica utilizza tecniche sofisticate per ottenere una rappresentazione dettagliata del fondale e delle risorse presenti. Tra queste, il sonar a scansione laterale consente di identificare noduli e irregolarità, mentre i rilievi magnetometrici e gravimetrici permettono di individuare anomalie mineralizzate. L'impiego di veicoli autonomi e telecomandati, dotati di sensori avanzati e sistemi di fotogrammetria, contribuisce alla costruzione di modelli ad alta risoluzione della distribuzione spaziale dei depositi. Queste attività sono generalmente condotte da centri di ricerca e contractor specializzati, dotati di flotte e strumentazioni idonee a operare in condizioni di elevata complessità tecnica.

I dati raccolti vengono successivamente elaborati mediante software geofisici avanzati, con l'obiettivo di stimare la densità dei noduli, determinarne la composizione mineralogica e ricostruire modelli tridimensionali del fondale. Tale fase include anche la valutazione preliminare degli impatti ambientali potenziali, elemento fondamentale in un contesto caratterizzato da elevate incertezze scientifiche. L'analisi tecnico-economica della scoperta integra queste informazioni con la stima dei volumi estraibili, delle prestazioni dei sistemi di raccolta e dei costi operativi. Ne deriva una valutazione complessiva della fattibilità del progetto, che richiede il coordinamento tra industrie, enti scientifici e organismi internazionali, con particolare attenzione agli aspetti ambientali e regolatori.

2.2.2 Sviluppo e produzione

La fase di sviluppo e produzione nel deep sea mining si apre con l'impostazione del campo minerario, che consiste nella definizione dell'assetto operativo dell'area estrattiva sulla base dei dati acquisiti durante l'esplorazione. Questa attività comporta la pianificazione delle traiettorie dei veicoli di raccolta, la valutazione delle condizioni di stabilità dei sedimenti e la progettazione dei sistemi di risalita del materiale. Parallelamente, si definiscono i corridoi operativi per i veicoli subacquei, la posizione delle unità navali e le procedure di gestione delle emergenze, in un'ottica di integrazione tra ingegneria, geologia e logistica offshore.

Le attività produttive costituiscono il nucleo centrale della filiera e si basano sull'impiego di sistemi avanzati di raccolta, tra cui veicoli cingolati dotati di meccanismi di aspirazione selettiva. Questi dispositivi operano sul fondale separando i noduli dai sedimenti e convogliandoli verso sistemi di trasporto verticale. La risalita del materiale avviene attraverso tubazioni dotate di pompe ad alta pressione, che garantiscono il flusso continuo della miscela fino alla superficie. I riser rappresentano una componente critica, in quanto devono resistere a condizioni estreme e assicurare stabilità e affidabilità lungo profondità che possono raggiungere diversi chilometri.

Le operazioni proseguono a bordo di unità navali specializzate, progettate per integrare le funzioni di trattamento, stoccaggio e gestione dei materiali. Tali unità sono dotate di impianti per la separazione dei sedimenti, serbatoi per lo stoccaggio temporaneo e sistemi per la gestione dei fanghi residui. L'impiego di gru e veicoli subacquei consente di effettuare ispezioni e interventi di manutenzione, garantendo la continuità operativa. Le infrastrutture subsea e il supporto logistico includono basi costiere, navi di rifornimento e mezzi per il trasporto del personale, nonché sistemi avanzati per le operazioni di ispezione e riparazione. La sicurezza operativa assume un ruolo centrale, considerata la complessità e la criticità

degli ambienti abissali. Le attività sono supportate da sistemi di monitoraggio continuo basati su sensori e veicoli autonomi, che permettono di rilevare variazioni ambientali e anomalie operative. Un'attenzione particolare è rivolta alla gestione dei sedimenti, al fine di limitare la dispersione delle particelle sospese. Le condizioni estreme richiedono inoltre procedure di emergenza rigorose e un costante controllo delle attrezzature. La governance del settore è affidata all'International Seabed Authority, che sta definendo il quadro normativo necessario a garantire uno sviluppo sostenibile delle attività estrattive.

2.2.3 Trattamento, trasporto e logistica

La fase finale della filiera comprende il trattamento iniziale, il trasporto e la logistica dei materiali estratti. A bordo delle unità navali, i noduli vengono sottoposti a processi di lavaggio e separazione dai sedimenti, seguiti da operazioni di stoccaggio temporaneo. I fanghi residui vengono generalmente reimmessi in mare, generando problematiche ambientali legate alla dispersione dei sedimenti lungo la colonna d'acqua, che richiedono sistemi di monitoraggio dedicati e rappresentano uno dei principali oggetti di dibattito scientifico.

Una volta completato il pre-trattamento, il materiale selezionato viene trasportato verso impianti onshore specializzati, dove subisce ulteriori processi di lavorazione quali essiccazione, frantumazione e trattamenti idrometallurgici e pirometallurgici. Queste operazioni consentono la separazione e il recupero dei metalli di interesse. Le catene logistiche del settore sono altamente integrate e comprendono sia il trasporto marittimo sia le successive fasi di raffinazione.

Nei siti industriali a terra, si procede infine all'estrazione dei metalli strategici, tra cui nichel, cobalto, rame e manganese, fondamentali per numerose applicazioni tecnologiche e per la transizione energetica. La complessità della filiera, unita alle implicazioni ambientali e regolatorie, rende il deep sea mining un settore in evoluzione, il cui sviluppo futuro dipenderà dalla capacità di coniugare innovazione tecnologica, sostenibilità ambientale e adeguati sistemi di governance internazionale.

2.3 Energie rinnovabili marine

L'energia rinnovabile offshore si configura oggi come uno dei pilastri fondamentali della transizione energetica globale, grazie alla sua capacità di fornire grandi quantitativi di energia a basse emissioni in contesti caratterizzati da elevata disponibilità di risorsa naturale. In questo ambito, l'eolico marino rappresenta il segmento dominante, declinato nelle configurazioni fixed-bottom e floating, ma si osserva una crescente attenzione anche verso tecnologie emergenti per lo sfruttamento dell'energia delle onde, delle correnti marine e dei gradienti termici e salini. La filiera industriale associata è estremamente ampia e si distingue per un'elevata intensità tecnologica, per la presenza di catene di fornitura globali complesse e per investimenti infrastrutturali su larga scala, sostenuti da politiche pubbliche e da organismi sovranazionali.

Analogamente ad altri settori offshore, la filiera dell'energia rinnovabile marina si articola in tre macro-fasi principali: l'esplorazione, caratterizzazione e progettazione, lo sviluppo e installazione degli impianti e, infine, le operazioni di esercizio, manutenzione e gestione del fine vita. Questa articolazione riflette la complessità intrinseca dei progetti offshore, che richiedono un'integrazione avanzata tra competenze ingegneristiche, ambientali e logistiche.

2.3.1 Esplorazione, caratterizzazione e progettazione (Upstream)

La fase iniziale di un progetto offshore è caratterizzata da un'approfondita attività di studio e analisi del sito, necessaria per definire le condizioni operative e il potenziale energetico dell'area. Questa fase prevede campagne meteo-oceanografiche condotte mediante boe strumentate e reti di sensori avanzati, in grado di rilevare con precisione parametri quali velocità e direzione del vento, altezza e frequenza del moto ondoso e intensità delle correnti marine. A queste attività si affiancano indagini geofisiche e geotecniche finalizzate alla caratterizzazione del fondale, indispensabili per determinare la tipologia delle fondazioni e le condizioni di installazione delle infrastrutture.

Parallelamente, vengono eseguiti studi ambientali e analisi sulla biodiversità, elementi fondamentali per il processo autorizzativo e per la valutazione della sostenibilità del progetto. L'insieme di queste attività consente di costruire un quadro completo del sito, integrando aspetti energetici, ambientali e tecnici. Tale fase coinvolge un ecosistema articolato di attori, comprendente centri di ricerca oceanografica, società specializzate in survey offshore e operatori energetici che finanziano campagne di misurazione pluriennali per supportare le attività di modellazione e progettazione.

I dati raccolti vengono successivamente elaborati mediante modelli avanzati di tipo geofisico, idrodinamico e strutturale, con l'obiettivo di simulare il comportamento del sito e delle future infrastrutture. In questo contesto si procede alla stima della producibilità attesa, espressa in termini di energia annua generata, e alla valutazione dei carichi strutturali che agiranno sulle turbine e sulle fondazioni. Vengono inoltre analizzati i rischi operativi associati alle condizioni meteo-marine estreme, ai fenomeni di corrosione e alle interazioni dinamiche con il fondale. Parallelamente, si sviluppano modelli economici che consentono di stimare gli investimenti necessari, i costi operativi e i requisiti di connessione alla rete elettrica, determinando la redditività attesa del progetto. L'integrazione di questi elementi conduce alla cosiddetta analisi di bancabilità, condizione essenziale per attrarre capitali e definire la configurazione preliminare del parco offshore.

2.3.2 Sviluppo, costruzione e installazione

Una volta identificata l'area di interesse e completata la fase progettuale preliminare, si procede allo sviluppo del parco offshore, che include la definizione dell'architettura complessiva del sistema. Questa fase richiede un approccio di ingegneria integrata che tenga conto della disposizione delle turbine, della tipologia di fondazione e della configurazione dei sistemi elettrici di connessione. Le soluzioni fondazionali possono variare significativamente a seconda delle condizioni del sito, includendo monopali, strutture jacket o piattaforme galleggianti come spar, TLP e semi-submersible. La rete elettrica interna al parco e i collegamenti di esportazione verso terra possono essere realizzati mediante tecnologie HVAC o HVDC, a seconda della distanza dalla costa e delle esigenze di trasporto dell'energia.

La produzione delle turbine e dei componenti principali rappresenta uno degli elementi più critici della filiera industriale. Il mercato è dominato da un numero limitato di produttori in grado di sviluppare macchine di grandi dimensioni e potenza, caratterizzate da rotori di diametro superiore ai 200 metri e torri di notevole altezza. La realizzazione di questi sistemi richiede processi industriali altamente specializzati, che comprendono l'impiego di materiali compositi avanzati per le pale, l'integrazione di generatori ad alta efficienza e lo sviluppo di sistemi di controllo sofisticati.

L'obiettivo è garantire prestazioni elevate, affidabilità nel lungo periodo e resistenza alle condizioni ambientali particolarmente severe tipiche dell'ambiente offshore.

Le attività di costruzione e installazione in sito richiedono un coordinamento complesso tra infrastrutture portuali, flotte navali specializzate e tecnologie avanzate. L'installazione delle fondazioni costituisce una delle fasi più impegnative, soprattutto nel caso dei monopali di grande diametro, che devono essere infissi nel fondale mediante potenti sistemi di battitura. Per i sistemi galleggianti, è necessario predisporre strutture di ancoraggio e sistemi di ormeggio prima dell'installazione delle turbine. Le operazioni di sollevamento e montaggio richiedono l'impiego di mezzi heavy-lift e sistemi di posizionamento dinamico.

Un ulteriore elemento critico è rappresentato dalla posa dei cavi sottomarini, che collegano le turbine tra loro e alla sottostazione offshore, nonché alla rete elettrica a terra. Queste attività sono eseguite mediante navi posacavi dotate di sistemi avanzati per l'interramento e la protezione dei cavi, richiedendo un'elevata integrazione tra ingegneria marina e logistica operativa. L'intero processo di installazione è affidato a contractor specializzati che operano su scala globale e dispongono di competenze tecniche consolidate nella realizzazione di infrastrutture offshore complesse.

2.3.3 Operazioni, manutenzione e fine vita

Una volta avviato il parco offshore, ha inizio la fase operativa, che comprende attività di monitoraggio continuo, gestione energetica e controllo strutturale degli impianti. Il monitoraggio si basa su tecnologie digitali avanzate, tra cui digital twin e sensori distribuiti che consentono di prevenire eventuali anomalie e ottimizzare le prestazioni del sistema. Parallelamente, la gestione dei flussi energetici richiede sistemi di controllo altamente affidabili, in grado di garantire la stabilità della produzione e l'integrazione con la rete elettrica.

La sorveglianza meteo-marina rappresenta un ulteriore elemento chiave, poiché consente di pianificare in sicurezza le attività di manutenzione e di prevenire situazioni critiche. A tal fine vengono utilizzate reti di rilevamento e piattaforme di analisi dei dati sviluppate specificamente per ambienti offshore. Le tecnologie robotiche, tra cui droni, ROV e AUV, svolgono un ruolo sempre più rilevante nelle attività di ispezione, permettendo di ridurre l'esposizione del personale umano a condizioni operative rischiose e di migliorare l'efficienza complessiva del sistema.

Le operazioni di manutenzione comprendono interventi sia ordinari sia straordinari sulle turbine, sulle sottostazioni e sui sistemi elettrici. Tali attività richiedono competenze avanzate nella gestione della corrosione e nella protezione catodica, essenziali per preservare l'integrità delle strutture nel lungo periodo. Le operazioni in mare sono supportate da unità navali specializzate, tra cui Service Operation Vessels dotate di sistemi di accesso diretto alle turbine e mezzi per il trasferimento rapido del personale. Le attività subacquee sono affidate a sistemi robotici che consentono di monitorare lo stato delle fondazioni e dei cavidotti.

La gestione del fine vita rappresenta infine un elemento cruciale della sostenibilità del settore. Le attività di decommissioning includono la rimozione delle strutture, il ripristino del sito e il recupero dei materiali, con un crescente focus sul riciclo dei componenti e sulla riduzione dell'impatto ambientale complessivo. In questo contesto, l'intero ciclo di vita degli impianti offshore viene sempre più progettato secondo principi di economia circolare, al fine di massimizzare il valore delle risorse e minimizzare gli effetti sull'ambiente.

3. Trasporto di risorse energetiche

Il trasporto sottomarino di risorse energetiche rappresenta una delle infrastrutture più strategiche del sistema energetico globale. Gasdotti, oleodotti e cavidotti costituiscono l'ossatura nascosta che consente il trasferimento continuo di gas naturale, petrolio e flussi elettrici ad alta tensione tra Paesi e continenti. A livello globale, tali infrastrutture si estendono per centinaia di migliaia di chilometri, con oltre 170.000 km di pipeline sottomarine dedicate al trasporto di idrocarburi, a testimonianza della loro rilevanza per la sicurezza e la continuità degli approvvigionamenti. In particolare, in aree nevralgiche come il Mediterraneo, queste reti contribuiscono in modo determinante alla stabilità delle forniture e alla resilienza energetica europea.

Nel bacino mediterraneo, una fitta rete di gasdotti sottomarini assicura il trasferimento di risorse energetiche dal continente africano verso l'Europa. Tra le principali infrastrutture si distinguono il Transmed gasdotto Mattei, che collega l'Algeria all'Italia attraversando la Tunisia e approdando a Mazara del Vallo, il Greenstream gasdotto, che connette la Libia con Gela, e il TAP Trans Adriatic Pipeline, che, integrato con il TANAP Trans Anatolian Pipeline proveniente dall'area caspica, attraversa Grecia e Albania includendo un tratto sottomarino nel Mar Adriatico fino a raggiungere Melendugno. Tali infrastrutture costituiscono direttrici essenziali per la diversificazione delle fonti e delle rotte di approvvigionamento energetico.

Accanto ai gasdotti, i cavidotti sottomarini svolgono una funzione sempre più rilevante nell'integrazione dei sistemi elettrici. Nel contesto europeo, e in particolare italiano, la rete sviluppata da Terna società elettrica italiana garantisce l'interconnessione tra le isole del Tirreno e la penisola attraverso collegamenti strategici quali il SACOI elettrodotto Sardegna Corsica Italia e il SAPEI elettrodotto Sardegna Penisola Italiana, contribuendo alla stabilità e alla sicurezza del sistema elettrico nazionale e favorendo gli scambi energetici transfrontalieri.

La filiera del trasporto sottomarino si articola dunque in tre componenti principali: gasdotti, oleodotti e cavidotti. Gli oleodotti sottomarini, sebbene meno diffusi nel contesto mediterraneo rispetto ai gasdotti, svolgono un ruolo essenziale nel trasferimento del greggio dalle unità offshore ai terminali costieri. Ciascuna tipologia richiede capacità ingegneristiche avanzate, impianti dedicati alla compressione e al trattamento dei fluidi, flotte specializzate per la posa e sistemi di monitoraggio continuo. Queste infrastrutture consentono non solo il trasporto verso terra della produzione offshore, ma anche l'interconnessione tra piattaforme, terminali di liquefazione e impianti di rigassificazione.

A valle del sistema di trasporto sottomarino, gli impianti di rigassificazione di Gas Naturale Liquefatto (GNL), tra cui quelli situati a Panigaglia (La Spezia), al largo di Livorno (OLT Offshore LNG Toscana) e di Porto Viro (Rovigo), rappresentano nodi fondamentali per l'immissione del gas nelle reti di trasporto terrestri, contribuendo ad aumentare la flessibilità del sistema energetico e la diversificazione delle fonti di approvvigionamento.

3.1 Trasporto di gas naturale

I gasdotti sottomarini rappresentano oggi l'infrastruttura portante della rete energetica offshore, poiché sono progettati per operare ad alte pressioni garantendo stabilità meccanica e integrità strutturale anche in contesti marini complessi e ad elevato rischio ambientale. La loro realizzazione richiede capacità ingegneristiche avanzate e l'impiego di tecnologie di posa altamente specializzate, selezionate in funzione

delle profondità operative, delle condizioni meteo-marine e delle proprietà meccaniche della condotta. Le tecniche di posa S-lay e J-lay rappresentano gli standard industriali più consolidati: la prima è utilizzata prevalentemente in acque intermedie e per condotte di grande diametro, mentre la seconda è applicata in acque profonde per garantire il controllo delle tensioni e della curvatura del tubo durante la fase di installazione.

Parallelamente, il trasporto del gas naturale in ambito offshore può avvalersi di differenti modalità operative, scelte in funzione delle condizioni del giacimento, della distanza dai terminali e degli obiettivi logistici. Una soluzione a elevata flessibilità è rappresentata dalle unità galleggianti di liquefazione FLNG (Floating Liquefied Natural Gas), che integrano a bordo impianti per il trattamento, la liquefazione e lo stoccaggio del gas, consentendo l'avvio della produzione anche in aree remote prive di infrastrutture costiere. In alternativa, il gas trattato può essere trasferito a metaniere LNG e trasportato verso terminali onshore o offshore per la successiva rigassificazione. Il processo di liquefazione, che avviene a –162°C, consente di ridurre il volume del gas di circa 600 volte, permettendo un trasporto sicuro, efficiente e competitivo su lunghe distanze.

Nel panorama globale del GNL e delle soluzioni FLNG emergono numerosi progetti che costituiscono benchmark tecnologici e operativi per l'intero settore.

3.2 Trasporto di greggio

Gli oleodotti sottomarini costituiscono un'infrastruttura essenziale per il trasferimento del greggio dalle unità di produzione offshore verso terminali costieri e raffinerie, garantendo la continuità del flusso energetico attraverso sistemi di trasporto ad alta affidabilità. Queste condotte operano in stretta integrazione con la logistica navale, poiché il trasferimento del petrolio da impianti galleggianti richiede un coordinamento efficace tra le infrastrutture subsea e le navi dedicate alle operazioni di offloading.

Nel caso delle Floating Production Storage and Offloading (FPSO), la movimentazione del greggio avviene tramite petroliere specializzate, gestite da operatori di riferimento a livello globale che sovrintendono al carico, allo stoccaggio temporaneo e al trasferimento verso i terminali a terra. Tali operatori costituiscono un elemento strategico della filiera, poiché assicurano l'efficienza del sistema logistico e la connessione tra la produzione offshore e la rete di distribuzione globale.

Le navi petroliere rappresentano un elemento fondamentale e al tempo stesso critico della logistica offshore: esse effettuano le operazioni di offloading attraverso sistemi di carico dedicati installati sulle FPSO, prelevando l'olio stabilizzato in condizioni operative complesse e garantendo una gestione sicura dei volumi estratti. Una volta completate le operazioni di carico, queste unità provvedono al trasporto del greggio verso raffinerie collocate nei principali hub energetici internazionali, contribuendo alla continuità della supply chain e alla stabilità degli approvvigionamenti a livello globale.

3.3 Trasporto di energia elettrica

I cavidotti elettrici sottomarini costituiscono un'infrastruttura strategica per la trasmissione dell'energia prodotta negli impianti offshore e per l'interconnessione tra sistemi elettrici regionali, garantendo capacità di trasporto ad alta tensione in condizioni operative complesse.

Questi sistemi comprendono cavi inter-array che collegano le singole turbine alle sottostazioni offshore, cavi di esportazione HVAC o HVDC destinati al trasferimento dell'energia verso la terraferma e dorsali sottomarine di lunga distanza impiegate per l'integrazione tra mercati elettrici. La progettazione dei cavidotti richiede un'analisi approfondita delle caratteristiche geotecniche del fondale, dei carichi dinamici indotti dalle correnti e del rischio di interazione con ancore, attrezzi da pesca o attività marittime. La loro realizzazione è affidata a un ristretto numero di operatori globali che presiedono il segmento ad alta tecnologia dei cavi sottomarini.

4. Trasporto sottomarino di dati

Le infrastrutture sottomarine per il trasporto dati costituiscono oggi l'ossatura critica della connettività globale, veicolando oltre il 95–99% del traffico internazionale e sostenendo transazioni economiche per oltre 10 trilioni di dollari al giorno. La loro centralità è accentuata dal contesto geopolitico, poiché incidenti nel Mar Baltico e nel Mar Rosso hanno evidenziato la vulnerabilità strategica di queste dorsali, spingendo governi e organismi internazionali a investire in diversificazione delle rotte e resilienza delle reti. In questo scenario si colloca la crescente influenza degli hyperscaler globali che, nell'ultimo decennio, hanno aumentato la loro quota di utilizzo della capacità internazionale dal 10% al 71%, trasformandosi da clienti a proprietari delle principali infrastrutture transoceaniche. Tale dominio sta trasformando profondamente la geografia digitale globale: mentre i sistemi tradizionali erano progettate per connettere principalmente hub urbani e punti di interconnessione terrestri, le nuove dorsali si orientano sempre più verso collegamenti diretti tra regioni in cui sorgono data center. Ne risulta una riconfigurazione strategica dei flussi informativi su scala intercontinentale, con architetture di rete pensate per ottimizzare latenza, capacità e resilienza del traffico dati.

Questo processo è evidente nei grandi sistemi privati realizzati o co-finanziati dai principali operatori cloud. Google, oggi coinvolta in circa 33 sistemi sottomarini, ha contribuito allo sviluppo di reti transoceaniche come Dunant (Virginia–Francia, 6.600 km) e Grace Hopper (USA–Regno Unito–Spagna), mentre Meta, con circa 15 cavi in portfolio, sta completando il progetto Waterworth, un sistema da 50.000 km che diventerà il più lungo al mondo entro il 2028. Anche Microsoft e Amazon stanno ampliando rapidamente la loro presenza, e rispettivamente controllano cinque e quattro dorsali strategiche, sostenendo la crescita del traffico generato da data center dedicati all'intelligenza artificiale e ai servizi cloud. A livello globale, sono attivi o pianificati oltre 600 sistemi sottomarini per un totale di più di 1,3 milioni di km di fibra, con una capacità in costante aumento grazie all'adozione di tecnologie DWDM e fibre multi-coppia, sviluppate e implementate proprio sulla spinta dagli investimenti degli hyperscaler.

L'espansione di queste reti risponde tanto a esigenze industriali quanto a logiche geopolitiche. Le nuove dorsali atlantiche e pacifiche realizzate da Google, Meta e Microsoft introducono resilienza e riducono la dipendenza da infrastrutture controllate da operatori tradizionali, ma concentrano al tempo stesso un potere senza precedenti nelle mani di poche piattaforme private, con implicazioni rilevanti sulla sovranità digitale degli Stati. I think tank e gli enti regolatori avvertono che un eventuale attacco, accidentale o intenzionale, a tali sistemi potrebbe causare interruzioni diffuse e limitare la concorrenza, alimentando il dibattito internazionale sul governo multilaterale delle infrastrutture digitali critiche.

In parallelo, la corsa alla capacità generata dall'intelligenza artificiale e dalla crescita dei data center alimenta nuovi corridoi sottomarini verso Medio Oriente, Sud-Est Asiatico e Africa orientale, regioni emergenti che mirano a inserirsi nella nuova geografia del cloud globale.

5. Realizzazione di veicoli navali di supporto

La filiera industriale delle unità navali impiegate nelle operazioni offshore è un ecosistema altamente specializzato, che integra progettazione navale avanzata, cantieristica, fornitori di sistemi marittimi, società di servizi ingegneristici e operatori energetici.

Questo settore comprende innanzitutto la produzione delle Mobile Offshore Drilling Units (MODU) – drillship, semisommergibili e jack-up – progettate per attività di esplorazione e perforazione in acque profonde e ultra-profonde, oltre alle navi per rilievi sismici dedicate alla caratterizzazione geofisica dei fondali.

In aggiunta a queste unità si collocano le navi per costruzione e manutenzione, come le pipe-lay vessels, i diving support vessel e le well intervention vessel, che supportano la posa di condotte, le ispezioni subacquee e gli interventi sui pozzi produttivi. Tali mezzi integrano sistemi di sollevamento pesante, gru offshore di grande capacità, moduli per operazioni subacquee e avanzati sistemi di posizionamento dinamico, risultando indispensabili per l'installazione di infrastrutture sottomarine complesse.

Un ulteriore segmento è rappresentato dalle unità destinate alla produzione e logistica energetica, tra cui spiccano le FPSO (Floating Production Storage and Offloading) e gli shuttle tanker, impiegati rispettivamente per il trattamento e lo stoccaggio degli idrocarburi estratti e per il loro trasferimento verso la terraferma.

La filiera si estende poi alle Offshore Support Vessels (OSV), che costituiscono la dorsale operativa quotidiana dei progetti offshore. Essa comprende Platform Supply Vessels per il rifornimento delle piattaforme, Anchor Handling Tug Supply (AHTS) per il posizionamento e la gestione delle ancore di unità galleggianti, Construction Support Vessels per operazioni subacquee complesse, ROV Support Vessel per l'impiego dei veicoli telecomandati e Multi-Purpose Supply Vessels in grado di svolgere molteplici funzioni operative.

Si tratta di una catena industriale ad alta intensità tecnologica, alimentata da cantieri navali specializzati, fornitori di sistemi di bordo, integratori di soluzioni di posizionamento dinamico e aziende di robotica subacquea, e sostenuta da operatori energetici globali impegnati nello sviluppo di infrastrutture offshore nei settori Oil & Gas e delle energie rinnovabili.

6. Protezione e difesa delle infrastrutture critiche

Le infrastrutture critiche sottomarine – comprendenti cavi dati, gasdotti, oleodotti, interconnessioni elettriche, piattaforme offshore e porti – costituiscono oggi una delle basi essenziali del funzionamento economico, energetico e digitale globale. Attraverso cavi in fibra ottica transitano oltre il 95–99% delle comunicazioni internazionali e trilioni di dollari di transazioni finanziarie quotidiane; parallelamente gasdotti e oleodotti sottomarini garantiscono la sicurezza degli approvvigionamenti energetici, mentre le interconnessioni elettriche permettono lo scambio di energia fra Paesi e la stabilizzazione dei sistemi elettrici nazionali.

La crescente interdipendenza globale ha reso queste infrastrutture elementi cardine della sicurezza nazionale, ma anche bersagli privilegiati per attori statali e non statali, come evidenziato dagli episodi di danneggiamento dei gasdotti Nord Stream e dai recenti tagli simultanei a cavi nel Mar Rosso e nel Baltico.

6.1 Motivazioni strategiche della protezione

Le motivazioni strategiche alla base della protezione delle infrastrutture sottomarine derivano principalmente dall'evoluzione dello scenario operativo, caratterizzato da una crescente **esposizione a minacce non convenzionali**, da un aumento della competizione geopolitica e dalla complessità delle interdipendenze tra sistemi energetici, digitali e logistici.

Nel contesto subacqueo si stanno diffondendo forme di interferenza ibride, spesso poco evidenti, come traini anomali di ancore, rilascio di carichi sul fondale o azioni mascherate da traffico civile che non vengono individuate tempestivamente a causa delle difficoltà nel monitorare l'ambiente sottomarino e l'assenza di un quadro normativo pienamente adattato a queste forme di ingerenza. L'ampliamento delle superfici di rischio, dovuto all'aumento delle tratte dei cavi, alla maggiore profondità operativa delle pipeline e alla presenza di nodi infrastrutturali distribuiti in aree strategiche, rende necessarie capacità di sorveglianza continue e un coordinamento transfrontaliero più solido.

Parallelamente, la competizione tecnologica e l'ingresso di nuovi attori industriali – in particolare aziende globali proprietarie di dorsali digitali e piattaforme cloud – stanno modificando la configurazione della governance delle infrastrutture. La loro gestione coinvolge infatti soggetti con ruoli e responsabilità differenti, spesso appartenenti a giurisdizioni multiple, rendendo più complesso armonizzare procedure di sicurezza, standard tecnici e protocolli di risposta.

Un ulteriore elemento strategico è rappresentato dalla crescente **interconnessione fisica e digitale** tra piattaforme offshore, reti di trasmissione, data center marittimi e sistemi portuali: un'interruzione localizzata può quindi propagarsi a monte o a valle della filiera, generando impatti sistemici ben superiori al danneggiamento del singolo asset.

A tali rischi si aggiungono poi gli eventi sistemici e accidentali, fra cui la pesca a strascico, le frane sottomarine, i terremoti o condizioni meteo estreme, in grado di danneggiare cavi e condotte anche in assenza di intenzionalità ostile.

La necessità di preservare la continuità operativa di sistemi sempre più integrati richiede dunque approcci di protezione che combinino sorveglianza fisica, sensoristica avanzata, gestione predittiva delle anomalie e un'integrazione strutturata tra operatori pubblici e privati.

6.2 Tipologie di attività di protezione e difesa

Le attività di protezione delle infrastrutture critiche sottomarine si articolano in un insieme coerente di capacità operative, tecnologiche e organizzative che agiscono lungo l'intero ciclo di vita delle infrastrutture – dalla sorveglianza preventiva alla risposta a eventi critici – con crescente integrazione tra assetti navali, sistemi autonomi e piattaforme digitali.

Sorveglianza e monitoraggio continuo

La sorveglianza rappresenta la prima linea di difesa e si basa sull'impiego coordinato di sensori sul fondale, reti acustiche passive, radar costieri, AIS, satelliti e piattaforme autonome di superficie e sottomarine (USV/AUV). Tecnologie emergenti come i cavi intelligenti con sensing distribuito (capaci di rilevare vibrazioni, pressioni e anomalie termiche lungo l'intera tratta) e reti acustiche a bassa frequenza consentono di individuare precocemente movimenti anomali, interferenze di natanti e potenziali minacce. L'integrazione di queste reti in piattaforme digitali consente di costruire quadro situazionale continuo e aggiornato, indispensabile per ridurre la finestra di vulnerabilità.

Pattugliamento navale e deterrenza

Il pattugliamento è affidato a un mix di assetti navali tradizionali e piattaforme senza equipaggio in grado di garantire copertura continua in aree ad alta densità di infrastrutture critiche. Le operazioni includono sorveglianza del traffico, verifica di attività sospette, controllo delle zone di interdizione e risposta immediata ad anomalie rilevate dalle reti sensoriali. Le iniziative NATO dedicate alla protezione delle "Critical Undersea Infrastructure" rappresentano un esempio di architettura multilivello in cui assetti navali, droni e sistemi antisabotaggio vengono coordinati per rafforzare la deterrenza e contrastare l'impiego di tecniche ibride in acque internazionali.

Ispezione e intervento sottomarino

Le operazioni di IMR (Inspection, Maintenance & Repair) includono l'uso integrato di ROV, AUV e robot residenti sul fondale che consentono ispezioni periodiche, raccolta dati tecnici, rilievi sonar ad alta risoluzione e interventi correttivi su cavi, giunti e condotte. L'impiego di piattaforme autonome riduce esposizione umana, accelera i tempi di risposta e permette di operare in condizioni ambientali critiche. L'estensione delle reti infrastrutturali e la profondità operativa crescente richiedono sistemi robotici con maggiore autonomia, capacità di navigazione avanzata e compatibilità con standard IMR internazionali.

Analisi dati, previsione delle minacce e risposta coordinata

L'evoluzione delle infrastrutture critiche sottomarine ha portato all'adozione di digital twin, algoritmi di manutenzione predittiva e reti di sensori acustici che permettono di anticipare anomalie strutturali, identificare pattern atipici e prevedere rischi legati a stress meccanici, attività anomale o cambiamenti ambientali. Le piattaforme di comando e controllo integrate consentono alle forze armate, alle autorità marittime e agli operatori privati di condividere dati in tempo reale, coordinare le operazioni e ridurre i tempi di intervento. Iniziative europee e atlantiche per la costruzione di centri di allerta precoce rappresentano un passo essenziale verso una gestione congiunta e interoperabile delle minacce.

6.3 Principali progetti e iniziative internazionali

Come descritto nelle sezioni precedenti, negli ultimi anni, la protezione delle infrastrutture critiche sottomarine è sempre più una priorità strategica per governi, alleanze militari e organismi multilaterali. La crescente interdipendenza economica, l'aumento delle tensioni geopolitiche e la vulnerabilità intrinseca delle reti subacquee hanno spinto numerosi Paesi a sviluppare programmi dedicati al monitoraggio, alla deterrenza e alla risposta rapida.

In questo contesto si collocano alcune delle iniziative più rilevanti a livello internazionale, che combinano capacità militari, innovazione tecnologica e collaborazione tra settore pubblico e privato.

Le principali iniziative internazionali da segnalare sono:

- **Baltic Sentry Mission (NATO, 2024):** Programma, in ambito NATO, di sorveglianza avanzata per proteggere cavi e condotte nelle aree più esposte del Baltico, con capacità integrate di monitoring, deterrenza e intervento rapido.
- **NATO CUI (Critical Undersea Infrastructure) Network:** Progetto avviato nel 2025, con l'obiettivo di promuovere la cooperazione tra Marina, industria, agenzie governative e organismi scientifici al fine di sviluppare tecnologie di sorveglianza avanzate, droni subacquei, sensori fondali e protocolli di risposta rapida.
- **REPMUS (Robotic Experimentation and Prototyping using Maritime Uncrewed Systems):** Esercitazione internazionale annuale, che si svolge in Portogallo sotto la guida NATO con il coinvolgimento di forze armate, industrie e centri di ricerca, dedicato alla sperimentazione, prototipazione e integrazione operativa di sistemi senza equipaggio nel dominio marittimo, compresi veicoli e soluzioni underwater.
- **European Defence Fund:** Programma poliennale per lo sviluppo della difesa europea, supporta anche iniziative di ricerca volte alla difesa delle infrastrutture critiche sottomarine.
- **Coastal Cable Protection Initiative:** Iniziativa irlandese volta al rafforzamento delle reti di sorveglianza costiera e protezione dei landing points a fronte dell'aumento dei rischi nell'Atlantico Nord.
- **Polo Nazionale della dimensione Subacquea (PNS):** Rappresenta una nuova realtà strategica italiana, nata per valorizzare e coordinare le eccellenze nazionali nel settore subacqueo.

6.4 Polo Nazionale della dimensione Subacquea

Il Polo Nazionale della Subacquea (PNS) rappresenta oggi una delle principali iniziative strategiche italiane nel settore underwater, concepita per valorizzare e coordinare le eccellenze nazionali del settore e rafforzare la sovranità tecnologica italiana in un ambito caratterizzato da crescente rilevanza geopolitica, industriale e militare. Inaugurato il 12 dicembre 2023 a La Spezia, il Polo nasce con una forte identità interministeriale e con una struttura operativa incardinata presso il Centro di Supporto e Sperimentazione Navale della Marina Militare, configurandosi come un hub in cui convergono istituzioni pubbliche, industria, università, centri di ricerca e startup. Attraverso questa integrazione, il PNS mira a consolidare la capacità nazionale di competere con i principali player internazionali attivi nel settore subacqueo.

L'istituzione del Polo risponde all'esigenza di presidiare un dominio strategico in cui convergono infrastrutture critiche, risorse energetiche, tecnologie autonome e attività militari. Gli obiettivi del PNS si articolano nella promozione della ricerca tecnico scientifica, nello sviluppo di tecnologie innovative, nella valorizzazione della proprietà intellettuale e nel rafforzamento della competitività industriale, con l'intento di consolidare la leadership italiana nel panorama europeo e mediterraneo. Un'attenzione particolare è dedicata alla protezione delle infrastrutture strategiche sottomarine – inclusi gasdotti, dorsali di cavi dati ed energia.

Il PNS ha avviato un portfolio di 18 progetti di ricerca e sviluppo per un valore complessivo di circa 115 milioni di euro, co finanziati al 50% e capaci di coinvolgere oltre cento realtà industriali e accademiche.

Le attività si concentrano su tematiche strategiche quali la navigazione autonoma subacquea, la progettazione di cavi intelligenti, lo sviluppo di manipolatori robotici e sistemi di propulsione avanzati, la realizzazione di materiali per ambienti estremi e l'evoluzione di batterie ad alte prestazioni, con l'obiettivo di generare prototipi e tecnologie operative già a partire dal 2026.

Tra i risultati già conseguiti figurano lo sviluppo di un sistema di controllo e sorveglianza subacqueo, concepito per garantire monitoraggio continuo delle infrastrutture in condizioni estreme, e la realizzazione di un veicolo autonomo multi missione in grado di operare in profondità elevate con capacità avanzate di navigazione, manipolazione e raccolta dati. Tali assetti collocano l'ecosistema italiano in una traiettoria convergente con quella dei principali paesi impegnati nello sviluppo di capacità underwater avanzate.

L'impatto complessivo delle attività del PNS si manifesta nel rafforzamento della sovranità tecnologica, nella creazione di una filiera industriale subacquea nazionale, nella capacità di attrarre investimenti e competenze, nel miglioramento della sicurezza delle infrastrutture critiche e nello stimolo costante all'innovazione e alla ricerca. Attraverso questi sviluppi, il Polo contribuisce a posizionare l'Italia come attore di primo piano nel settore underwater, al pari dei principali sistemi industriali internazionali già consolidati, e costituisce un volano strategico per la competitività nazionale in un contesto globale sempre più orientato alla difesa e alla valorizzazione degli asset sottomarini.

7. Altri settori

L'economia subacquea non si limita alle attività energetiche con le relative infrastrutture e alle reti di comunicazione ma comprende un insieme articolato di filiere che spaziano dalla ricerca scientifica alla robotica, dalla tutela ambientale alla valorizzazione del patrimonio culturale sommerso. Negli ultimi anni, la crescente disponibilità di tecnologie underwater — sensori, piattaforme autonome, sistemi acustici, veicoli robotici — ha accelerato l'evoluzione di settori di applicazione ed ha favorito la nascita di ambiti applicativi completamente nuovi. Ne emerge un panorama diversificato, in cui ricerca, industria e istituzioni convergono verso soluzioni integrate ad alto contenuto tecnologico. In questo contesto si collocano i principali settori che seguono, ciascuno caratterizzato da specifiche competenze e catene del valore dedicate.

Monitoraggio ambientale

Il monitoraggio ambientale marino rappresenta una delle filiere più consolidate dell'economia sottomarina, alimentata da tecnologie avanzate che consentono la raccolta sistematica di dati oceanografici, la rilevazione di inquinanti e l'analisi dello stato degli ecosistemi marini. Questa catena del valore integra la produzione di sensori subacquei, piattaforme autonome di osservazione, sistemi acustici e reti di trasmissione dati che collegano il fondale con i centri di ricerca a terra. Le informazioni raccolte vengono utilizzate per valutare la qualità delle acque, monitorare habitat sensibili, prevedere fenomeni climatici e supportare politiche di conservazione. Sempre di più, questa filiera si avvale di tecniche avanzate di analisi dei dati, intelligenza artificiale e modelli predittivi che permettono di individuare in anticipo variazioni negli ecosistemi marini e di intervenire tempestivamente nelle aree più vulnerabili.

Archeologia subacquea

L'archeologia subacquea costituisce un segmento più specialistico ma fortemente innovativo, sviluppatosi attorno alla convergenza tra robotica marina, sistemi sonar ad alta risoluzione e tecniche di imaging tridimensionale. L'esplorazione di siti sommersi è oggi resa possibile dall'impiego di veicoli autonomi e telecomandati in grado di operare a profondità significative, acquisendo dati geometrici e fotogrammetrici di straordinaria precisione. In questa filiera, organizzazioni pubbliche, centri di ricerca e realtà industriali collaborano con fornitori tecnologici che mettono a disposizione competenze maturate nei sistemi di sorveglianza navale e nei sensori acustici, oggi applicati anche alla conservazione del patrimonio culturale sommerso.

Ricerca scientifica

Un ruolo altrettanto rilevante è svolto dalla filiera dedicata alla ricerca scientifica oceanografica, nella quale le tecnologie underwater costituiscono lo strumento primario per lo studio della biodiversità marina, delle correnti, dei cicli biogeochimici e della morfologia dei fondali. Le piattaforme autonome, le boe intelligenti e gli AUV di nuova generazione permettono di acquisire dati ad alta risoluzione su scala globale, integrando osservazioni in situ con sistemi di modellazione avanzata. Questa filiera è caratterizzata da una forte cooperazione internazionale: agenzie scientifiche, istituti oceanografici, università e gruppi industriali operano insieme attraverso infrastrutture di ricerca avanzate — dalle reti di osservazione costiera ai programmi di monitoraggio oceanico profondo — contribuendo al progresso scientifico e alla comprensione dei cambiamenti climatici.

Robotica marina

La robotica marina rappresenta una delle filiere tecnologiche più strategiche, articolata nella progettazione e produzione di veicoli autonomi (AUV), veicoli telecomandati (ROV) e sistemi ibridi destinati ad applicazioni complesse quali ispezioni, riparazioni, mappature e interventi in ambienti ad alta profondità. Questa industria, caratterizzata da un'elevata intensità di know-how. L'evoluzione delle tecnologie robotiche ha permesso di ridurre significativamente i costi e i rischi associati alle operazioni subacquee, aprendo nuove prospettive per la manutenzione predittiva di infrastrutture critiche e per attività di esplorazione scientifica.

Pesca e acquacoltura

La filiera della pesca e dell'acquacoltura, pur rappresentando un settore tradizionale, è stata profondamente trasformata dall'introduzione di tecnologie subacquee avanzate. L'acquacoltura moderna si avvale infatti di sensori ambientali, sistemi di monitoraggio continuo, robot di ispezione delle gabbie e piattaforme digitali per la gestione ottimizzata delle risorse, con l'obiettivo di migliorare la sostenibilità, la produttività e il benessere degli organismi allevati. Anche in questo ambito l'innovazione è trainata dall'evoluzione degli strumenti di monitoraggio e dalla capacità di integrare dati ambientali e biologici, rendendo la filiera sempre più connessa a quella della robotica e dell'ocean monitoring.

Realizzazione di veicoli underwater specialistici

La filiera dei veicoli underwater specialistici rappresenta oggi uno dei segmenti più avanzati e strategici dell'economia marittima globale. Essa integra competenze ingegneristiche, tecnologie autonome, materiali avanzati, sensoristica intelligente e capacità industriali diffuse lungo un ecosistema composto da grandi gruppi cantieristici, aziende high-tech, fornitori di robotica subacquea, istituzioni militari e centri di ricerca multidisciplinari. La crescente complessità delle operazioni sottomarine, unita alla maggiore attenzione internazionale verso sicurezza, transizione energetica e protezione delle infrastrutture critiche, ha reso questi sistemi fondamentali in contesti che spaziano dall'Oil & Gas alle energie rinnovabili offshore, dal deep sea mining alla difesa navale, fino alla ricerca scientifica e ambientale.

La filiera dei veicoli underwater non si limita ai mezzi, ma ricomprende componenti e sottosistemi essenziali per la copertura dell'intero ciclo operativo: dalla progettazione delle piattaforme ai sistemi di lancio e recupero (LARS), dai payload scientifici e industriali ai moduli di navigazione, posizionamento e comunicazione. A questi si affiancano le piattaforme di comando e controllo, le interfacce uomo-macchina e le reti di trasmissione dati che garantiscono operazioni sicure e precise anche in ambienti ostili.

Comando e controllo e Systems of Systems

Il comando e controllo dei veicoli subacquei autonomi rappresenta uno dei pilastri fondamentali dell'architettura operativa nel dominio underwater, poiché consente di trasformare un sistema originariamente concepito come semplice piattaforma di raccolta dati in un asset capace di eseguire missioni complesse in modo sicuro, adattivo e continuativo. La funzione C2 assume quindi un ruolo centrale nella gestione dell'intero ciclo operativo, in quanto integra la definizione degli obiettivi, la pianificazione delle traiettorie, il monitoraggio dello stato del veicolo e la gestione degli imprevisti all'interno di un quadro caratterizzato da forte incertezza, variabilità ambientale e limitazioni nelle comunicazioni. Per rispondere a queste esigenze, i sistemi di comando e controllo devono basarsi su architetture software avanzate, in grado di decomporre la missione in sequenze operative elementari, supportare processi decisionali autonomi e garantire coerenza funzionale durante tutte le fasi dell'operazione.

Le soluzioni più recenti si fondano su architetture ibride che combinano modelli deliberativi e reattivi, superando i limiti delle logiche monolitiche tradizionali. Questo approccio consente di coniugare la capacità di pianificazione strategica con la reattività necessaria per affrontare eventi imprevisti in tempo reale. Il comando e controllo si articola così in moduli funzionali distinti ma interconnessi, dedicati alla navigazione, alla gestione dei sensori, alla supervisione di alto livello e al controllo degli attuatori. L'interazione coordinata di questi moduli permette al sistema di adattarsi dinamicamente al contesto operativo, mantenendo un equilibrio tra robustezza, flessibilità e capacità di risposta.

L'evoluzione tecnologica ha inoltre portato all'integrazione di capacità di autonomia collaborativa, che consentono ai veicoli di operare non solo come unità indipendenti, ma anche come nodi all'interno di reti multi-dominio. In tali configurazioni, gli UUV interagiscono con piattaforme di superficie, asset aerei e altri sistemi subacquei, contribuendo a costruire un ambiente operativo distribuito e interconnesso. I sistemi di comando e controllo più avanzati permettono l'inserimento di questi veicoli all'interno di architetture di mission management condivise, caratterizzate da scambio continuo di informazioni, tracciamento cooperativo e coordinamento strategico tra più assetti. In questo contesto, l'adozione di architetture open-systems gioca un ruolo determinante, facilitando l'integrazione di payload modulari,

l'aggiornamento dei componenti software e l'evoluzione progressiva delle capacità decisionali, garantendo al contempo interoperabilità e sostenibilità lungo l'intero ciclo di vita del sistema.

Una delle principali sfide del comando e controllo underwater è rappresentata dalla limitata disponibilità di canali di comunicazione affidabili. L'ambiente subacqueo impone infatti forti vincoli alla trasmissione dei dati, rendendo spesso impossibile un collegamento continuo tra il veicolo e la piattaforma di comando. Per questo motivo, le architetture più evolute prevedono modalità operative disconnesse, nelle quali il veicolo è in grado di interpretare istruzioni di alto livello, adattare autonomamente il proprio comportamento e gestire eventi imprevisti senza un costante supporto esterno. Questo paradigma richiede l'impiego di algoritmi predittivi avanzati, capacità di auto-configurazione e logiche decisionali robuste, in grado di garantire la continuità della missione anche in condizioni di isolamento temporaneo.

Nel contesto operativo reale, le applicazioni di comando e controllo coprono un ampio spettro di livelli di autonomia. Si passa da modalità di controllo remoto diretto a configurazioni di autonomia supervisionata, fino a scenari di autonomia completa all'interno di reti distribuite. Questa progressiva evoluzione consente ai veicoli di assumere un ruolo sempre più rilevante, trasformandoli in assetti tattici in grado di affrontare missioni complesse con un elevato grado di affidabilità. L'integrazione con simulatori e sistemi di addestramento avanzati contribuisce ulteriormente a migliorare le prestazioni operative, consentendo la validazione preventiva delle missioni e la formazione degli operatori in ambienti controllati.

All'interno di questo quadro evolutivo, gli Underwater Management Systems emergono come architetture di riferimento per l'integrazione e la gestione delle capacità operative. Essi non devono essere interpretati come sistemi singoli, ma come veri e propri sistemi di sistemi, in grado di coordinare piattaforme eterogenee, sensori distribuiti e infrastrutture di comunicazione attraverso un'architettura multilivello. L'UMS integra veicoli autonomi, sensori installati sul fondale, unità di superficie, reti di comunicazione subacquee e componenti terrestri, creando un ecosistema operativo coerente e scalabile.

Alla base di questa architettura si colloca un insieme articolato di funzionalità che coprono l'intero ciclo di vita della missione. Il sistema supporta attività di monitoraggio, analisi e interpretazione del contesto operativo, individuazione di anomalie o minacce, pianificazione strategica, esecuzione delle operazioni e valutazione post-missione. Questa capacità integrata consente di trasformare l'insieme di dati raccolti in conoscenza operativa, migliorando significativamente la qualità del processo decisionale.

L'approccio system-of-systems risponde in modo efficace alle esigenze emergenti sia in ambito militare sia in contesti civili. Nel dominio della difesa, l'integrazione di veicoli e sensori consente di abilitare capacità avanzate quali contromisure mine, guerra antisommergibile, intelligence e sorveglianza persistente. In ambito civile, le stesse architetture supportano applicazioni legate alla protezione delle infrastrutture critiche, al monitoraggio continuo e alla gestione degli asset offshore.

Elemento essenziale degli Underwater Management Systems è rappresentato dai servizi digitali che orchestrano l'intero sistema attraverso un framework di comando e controllo scalabile e multi-dominio. Questa infrastruttura consente la gestione coordinata di flotte eterogenee, la fusione avanzata dei dati e la supervisione distribuita delle missioni. Le architetture moderne adottano tecnologie aperte e microservizi containerizzati, che garantiscono elevati livelli di modularità, resilienza ed estendibilità. Ciò permette di adattare il sistema a requisiti differenti, supportando sia applicazioni militari sia scenari dual-use, nei quali sicurezza, efficienza e sostenibilità rappresentano obiettivi fondamentali.

8. Principali player di filiera

Il dominio subacqueo contemporaneo può essere descritto come un sistema complesso e integrato, nel quale convergono competenze scientifiche, capacità industriali, strutture normative e tecnologie ad alta intensità di innovazione. Le diverse filiere che lo compongono si distinguono per funzioni e mercati, ma risultano fortemente interconnesse da esigenze comuni, tra cui la sicurezza delle infrastrutture critiche, la gestione sostenibile delle risorse marine, la digitalizzazione delle operazioni, lo sviluppo dell'energia offshore e l'evoluzione di sistemi autonomi. Questo insieme di attività si articola in una serie di ambiti trasversali, quali la ricerca, la cantieristica, la robotica, l'energia, le telecomunicazioni, la certificazione e i servizi operativi, nei quali operano attori specializzati con ruoli complementari.

Un primo ambito fondamentale è quello della ricerca e dell'innovazione tecnologica. In questo contesto operano centri come INESC TEC, il CEOM della Marina portoghese e il network NATO CMRE, che svolgono attività di sperimentazione nel campo marittimo e della robotica autonoma. Iniziative come REPMUS rappresentano il principale banco di prova internazionale per la validazione di sistemi marittimi senza equipaggio. Anche il sistema italiano contribuisce in modo significativo attraverso strutture come il CSSN – Centro di Supporto e Sperimentazione Navale della Marina Militare italiana e università quali la Scuola Superiore Sant'Anna, le Università di Genova, Padova, Firenze, Milano Bicocca e Roma La Sapienza, che sviluppano competenze avanzate nell'ingegneria navale e nell'ocean engineering.

A fianco della ricerca operano le istituzioni pubbliche, le autorità regolatorie e le organizzazioni internazionali, responsabili della definizione delle regole e della sicurezza operativa. Enti come BSEE - Bureau of Safety and Environmental Enforcement, HSE – Health and Safety Executuve, OPRED – Offshore Petroleum Regulator for Environment and Decommissioning, e PSA - Petroleum Safety Authority, insieme a organizzazioni quali la NATO, il UK MoD e la Guardia Costiera, supervisionano le attività offshore, stabiliscono standard tecnici e coordinano operazioni e programmi di cooperazione internazionale. Nel campo del deep sea mining, organismi come l'International Seabed Authority svolgono un ruolo centrale nella regolazione e nell'autorizzazione delle attività, contribuendo alla costruzione di un quadro normativo ancora in evoluzione.

Un altro elemento chiave del sistema è rappresentato dagli enti di certificazione, tra cui ABS, DNV e Lloyd's Register, che garantiscono la conformità delle infrastrutture agli standard internazionali. Il loro contributo è essenziale per assicurare la sicurezza e l'affidabilità di piattaforme offshore, navi, sistemi subsea e componenti critici, in particolare nei contesti a più alto rischio.

La cantieristica navale e la costruzione di piattaforme costituiscono un pilastro industriale di primaria importanza. Grandi gruppi globali come Fincantieri, Naval Group, BAE Systems, Hyundai Heavy Industries, Mitsubishi Heavy Industries, Damen, Samsung, Daewoo e Keppel operano nella progettazione e costruzione di navi militari, sommergibili e unità offshore. In questo contesto, Fincantieri si distingue per un posizionamento progressivamente integrato lungo la catena del valore underwater, che combina capacità cantieristiche e piattaforme navali con sistemi unmanned, tecnologie di comando, controllo e orchestrazione, sensoristica e sistemi di difesa, comunicazioni subacquee, sistemi di lancio e recupero e servizi offshore specializzati. La robotica subacquea rappresenta un settore in forte espansione e sempre più centrale per le operazioni offshore. Aziende come Oceaneering, Fugro e Saipem (Sonsub) operano nella robotica applicata alle ispezioni e alla manutenzione, mentre HII/REMUS e Bluefin Robotics sviluppano veicoli autonomi modulari.

Altri attori, come Graal Tech[62] e CABI Cattaneo, si concentrano su soluzioni altamente specializzate per ambiti scientifici e operazioni speciali.

Accanto alla robotica, un ruolo fondamentale è svolto dai produttori di tecnologie avanzate. Aziende come Baker Hughes, SLB, Halliburton, TechnipFMC, DrilQuip e NOV sviluppano sistemi subsea e tecnologie per il controllo dei pozzi, mentre Thales, WASS[63] e LSI operano nella sensoristica, nei sistemi sonar e nella sicurezza marittima. Nel settore delle rinnovabili offshore si distinguono Siemens Gamesa, GE Vernova, Vestas, MingYang e Goldwind, mentre la filiera dei cavi sottomarini è presidiata da Hellenic Cables, Prysmian, Nexans e NKT. Altri player, come Kraken Robotics e Teledyne Marine, sono attivi nella sensoristica avanzata, mentre WSense[64] si distingue nelle tecnologie di comunicazione subacquea.

Nel settore energetico, le principali compagnie Oil & Gas — tra cui Eni, Shell, BP, TotalEnergies, Saudi Aramco, Equinor, ExxonMobil, Petrobras, Chevron, CNOOC, ConocoPhillips e Perenco — rappresentano i principali attori industriali e committenti delle infrastrutture offshore. A queste si affiancano operatori come Pemex, MISC e Bumi Armada, attivi nella gestione delle FPSO e della logistica.

Il deep sea mining costituisce un segmento emergente, nel quale operano società come The Metals Company, GSR, NORI e Allseas, impegnate nello sviluppo di tecnologie per l'estrazione di noduli polimetallici.

Nel campo delle energie rinnovabili offshore, i principali sviluppatori includono Ørsted, RWE, SSE Renewables, Iberdrola, Vattenfall, Equinor e TotalEnergies, affiancati da nuovi operatori del floating wind come BW Ideol, Corio, CIP e BlueFloat Energy. Questi soggetti guidano lo sviluppo dei progetti e gli investimenti nel settore.

Le infrastrutture digitali sottomarine rappresentano un ulteriore elemento strategico. Grandi aziende tecnologiche come Google, Meta, Microsoft (Azure) e Amazon controllano gran parte delle dorsali dati globali, contribuendo in modo determinante alla connettività internazionale.

Un ruolo cruciale è svolto anche dagli EPC contractor e dagli integratori di sistema, tra cui TechnipFMC, Subsea7/Seaway7, Saipem, McDermott e Allseas, che gestiscono progettazione, costruzione e installazione di infrastrutture offshore complesse. Nel settore delle rinnovabili operano anche Technip Energies, Cadeler, DEME, Van Oord e Jan De Nul, specializzati nell'installazione di turbine e cavi.

Infine, le attività offshore sono supportate da un'articolata rete di **servizi logistici**. Aziende come Bristow Group e CHC Helicopter forniscono trasporto aereo e servizi di emergenza, mentre flotte navali gestite da operatori come Van Oord, DEME, Seaway7 e Seaspan garantiscono il supporto operativo. In questo contesto si inserisce anche Drafinsub, attiva nei lavori subacquei complessi.

[62] Parte del Gruppo Fincantieri.

[63] Idem.

[64] Idem.

9. Strutturazione del comparto industriale e armonizzazione regolamentare

La crescente rilevanza strategica del dominio underwater, resa evidente dalla convergenza di attività energetiche, digitali, scientifiche e di sicurezza, impone la necessità di definire una struttura industriale più integrata rispetto all'attuale configurazione frammentata. Il settore, infatti, si sviluppa lungo filiere differenti — dall'Oil & Gas alle energie rinnovabili, dal deep sea mining alla protezione delle infrastrutture critiche — che al momento operano con logiche prevalentemente verticali e con limitati punti di interconnessione. Per garantire efficienza, sicurezza e competitività, diventa essenziale costruire un modello industriale e organizzativo capace di coordinare in modo continuativo grandi gruppi cantieristici, operatori energetici, centri di ricerca, aziende tecnologiche, provider di servizi marittimi e istituzioni nazionali e sovranazionali. Solo una visione integrata permette infatti di sviluppare un ecosistema capace di sostenere un ciclo dell'innovazione continuo, accelerare la maturazione tecnologica e garantire la resilienza operativa delle infrastrutture immerse.

Sul piano normativo, la protezione delle infrastrutture critiche sottomarine si colloca oggi in un quadro operativo e regolatorio complesso, nel quale competenze civili e responsabilità militari tendono a sovrapporsi. La maggior parte delle dorsali energetiche e digitali — cavi di telecomunicazione intercontinentali, pipeline, sistemi HVDC e reti per il trasporto di dati strategici — è infatti di proprietà o gestione privata, con operatori industriali responsabili del monitoraggio tecnico, della manutenzione e della prima risposta a malfunzionamenti o anomalie. Tuttavia, come rilevato da diversi studi NATO, questa predominanza della componente civile è messa in discussione dall'emergere di minacce intenzionali a elevata sofisticazione, quali sabotaggi, interferenze ostili e attività ibride attribuibili a soggetti statuali o para-statuali, che superano le capacità tecniche e di sicurezza tipiche degli operatori privati. In questo scenario, la dimensione militare assume un ruolo crescente. La NATO, attraverso la creazione nel 2024 del Critical Undersea Infrastructure (CUI) Network, ha riconosciuto formalmente la necessità di un approccio congiunto che integri sorveglianza militare, capacità di deterrenza e collaborazione con industria ed enti regolatori.

Sul piano normativo, tuttavia, persistono elementi di eterogeneità, che combinano direttive europee, standard tecnici internazionali e iniziative di sicurezza promosse dalla NATO, come i programmi dedicati alla Critical Undersea Infrastructure Protection (CUIP). Parallelamente, gli Stati membri applicano normative nazionali che interpretano e recepiscono tali indirizzi secondo priorità e competenze interne. Questo intreccio genera un mosaico regolatorio spesso disomogeneo, dove criteri autorizzativi, responsabilità di sorveglianza, standard tecnici e procedure di risposta alle minacce non risultano uniformi. La protezione delle dorsali energetiche e digitali che attraversano più giurisdizioni — gasdotti, oleodotti, cavidotti HVDC/HVAC e sistemi globali di telecomunicazione — richiede invece coerenza e interoperabilità, elementi che l'attuale quadro frammentato fatica a garantire.

In tale contesto, emerge con forza l'esigenza di una più ampia razionalizzazione normativa. È necessario promuovere un processo di armonizzazione che renda compatibili competenze nazionali e sovranazionali, definisca standard tecnici comuni e chiarisca le responsabilità di gestione e protezione delle infrastrutture critiche, includendo in modo esplicito anche il delicato equilibrio tra attori civili e militari. Studi indipendenti mettono in luce la mancanza di protocolli condivisi tra UE e NATO, la scarsa interoperabilità dei sistemi di sensorizzazione civili e militari e l'insufficiente chiarezza giuridica sulle responsabilità in

caso di attacchi ibridi, fattori che rendono oggi il dominio sottomarino particolarmente vulnerabile e che rafforzano la necessità di una regolazione integrata e multilivello capace di coniugare governance civile, capacità industriali e competenze militari in un'unica architettura operativa coerente. Un quadro regolatorio omogeneo ridurrebbe il rischio di sovrapposizioni o lacune, migliorerebbe la rapidità decisionale e garantirebbe una maggiore prevedibilità per gli investimenti industriali, riducendo al contempo gli oneri amministrativi che oggi ostacolano lo sviluppo di nuove infrastrutture sottomarine. Tale quadro dovrebbe tuttavia mantenere sufficiente flessibilità per consentire l'introduzione di nuove opzioni tecnologiche e organizzative, preservando al contempo principi chiari di non regressione in materia di sicurezza, affidabilità, responsabilità, tracciabilità e resilienza delle infrastrutture.

Un elemento da sottolineare di questa evoluzione è rappresentato dal principio di co-design tra istituzioni e industria. In tale prospettiva, assume rilievo anche la disponibilità di facilities di prova, validazione e dimostrazione accessibili, incluse infrastrutture pubbliche o dual-use, che consentano di ridurre le barriere all'ingresso, accelerare la maturazione delle soluzioni e rendere più ordinato il passaggio dalla sperimentazione all'impiego operativo. Il coinvolgimento diretto degli attori produttivi nella definizione precoce dei requisiti operativi e normativi consente di garantire che le soluzioni normative e tecnologiche rispecchino i reali vincoli industriali e operativi; inoltre, i processi di certificazione, standardizzazione e adozione di nuove tecnologie risultano più efficaci quando industria, regolatori e difesa collaborano in modo strutturato e continuativo. Accanto all'armonizzazione regolamentare, risulta inoltre essenziale una programmazione di medio-lungo periodo della domanda pubblica e degli investimenti, capace di offrire alla filiera visibilità sufficiente per pianificare capacità industriali, percorsi di qualificazione e sviluppo tecnologico. Ne risulta un ecosistema più solido, capace di coniugare innovazione, sicurezza e sostenibilità operativa in un dominio che, per natura, richiede cooperazione costante e coordinamento a livello internazionale.

10. Complessità e frammentazione del mercato: la necessità di uno spazio di integrazione

L'analisi del mercato europeo e globale dedicato alla sicurezza e alla sorveglianza delle infrastrutture critiche subacquee evidenzia un quadro estremamente frammentato, caratterizzato da una pluralità di attori che operano secondo logiche settoriali spesso indipendenti e potenzialmente disallineate. Cantieri navali, fornitori di sottosistemi tecnologici, aziende ICT e di robotica, operatori energetici offshore, agenzie di sicurezza marittima e organismi istituzionali contribuiscono ciascuno con competenze avanzate e soluzioni verticali, ma tali capacità non si traducono in un sistema unitario di maritime situational awareness. La mancanza di un soggetto in grado di integrare veicoli, piattaforme, componentistica, sensoristica, reti di comunicazione, modelli di analisi e capacità operative genera un mosaico tecnologico disomogeneo che limita la possibilità di garantire una sorveglianza coordinata e continua dell'ambiente underwater.

In questo scenario emerge con chiarezza l'esistenza di un vero e proprio 'empty space', uno spazio ancora non pienamente presidiato sul piano della governance, interoperabilità e capacità integrativa. La limitata presenza di soggetti in grado di svolgere un efficace ruolo di orchestrazione industriale o istituzionale impedisce la piena valorizzazione del patrimonio tecnologico già disponibile in Europa e a livello globale, rallenta la diffusione di standard comuni e rende difficile la costituzione di un quadro operativo condiviso in grado di affrontare minacce multi-dominio.

Tale vuoto non riguarda solamente l'allineamento dei requisiti tecnici, ma coinvolge anche la definizione di procedure comuni di monitoraggio, la gestione dei dati critici, l'interoperabilità delle piattaforme robotiche e la coordinazione delle risorse operative dispiegate nei diversi mari regionali.

Per colmare questo divario, diventa sempre più rilevante esplorare modelli avanzati di cooperazione pubblico-privata e di orchestrazione industriale che permettano di strutturare veri ecosistemi marittimi integrati. Questi modelli dovrebbero favorire una convergenza tra industria, operatori marittimi, istituzioni di sicurezza e centri di ricerca, al fine di costruire un'infrastruttura operativa condivisa in grado di sostenere funzioni di allerta precoce, risposta coordinata e gestione efficiente degli asset sottomarini. L'obiettivo è la creazione di un sistema resiliente, capace di affrontare minacce sempre più sofisticate attraverso una visione unitaria dello spazio marittimo, un uso armonizzato delle tecnologie emergenti e una governance multilivello che superi l'attuale frammentazione. In tal modo l'Europa potrebbe trasformare la propria base industriale e scientifica in un vantaggio strategico, consolidando una capacità autonoma e competitiva nella protezione delle infrastrutture critiche subacquee.

11. Il ruolo dell'orchestratore: governance integrata e leadership tecnologica

Alla luce di un contesto eterogeneo e di un approccio frammentato, basato su contributi verticali e non coordinati, diventa quindi essenziale introdurre la figura di un orchestratore, un soggetto dotato di competenze multidisciplinari e di una visione sistemica capace di integrare le diverse componenti industriali, operative e istituzionali in un'unica architettura di governance. Tale attore può assumere natura industriale, istituzionale o pubblico-privata, ma deve comunque rappresentare un punto di raccordo strategico tra le esigenze del policy making, le capacità tecnologiche del comparto produttivo, le funzioni operative delle forze armate e degli operatori civili e le attività di ricerca avanzata. Solo una figura in grado di integrare questi elementi può garantire una visione unitaria del dominio subacqueo, facilitare lo sviluppo di soluzioni innovative e coordinare in modo efficace le diverse componenti della filiera.

L'efficacia di un orchestratore si misura innanzitutto nella sua capacità di garantire un'integrazione sistemica effettiva (ruolo di system integrator). Le infrastrutture critiche subacquee richiedono infatti la sinergia tra piattaforme navali, veicoli autonomi, reti di sensori, sistemi di comunicazione sicura, modelli di analisi del rischio e soluzioni di controllo distribuito. La mancanza di un soggetto in grado di unificare tali tecnologie genera inevitabilmente ridondanze, incompatibilità tecnologiche e difficoltà nella gestione coordinata delle emergenze. Il soggetto che ricopre il ruolo di orchestratore deve quindi possedere una comprensione approfondita dei sistemi marittimi complessi, delle interfacce digitali e delle logiche operative proprie dei diversi domini, traducendo questa conoscenza in architetture interoperabili e scalabili.

Oltre alle competenze tecniche, un orchestratore efficace deve mantenere una neutralità strategica che ne garantisca l'autorevolezza nei confronti dei diversi stakeholder. Tale neutralità consente di conciliare interessi industriali spesso eterogenei con le esigenze istituzionali di sicurezza nazionale e con gli obiettivi di lungo periodo relativi alla resilienza infrastrutturale. La credibilità istituzionale rappresenta un ulteriore elemento essenziale: solo un soggetto riconosciuto, legittimato e inserito in reti di cooperazione internazionale può infatti coordinare efficacemente attività che coinvolgono normative multilivello, standard tecnici complessi e minacce transfrontaliere.

Questo ruolo richiede capacità diplomatiche, conoscenza dei meccanismi europei e alleati, oltre che un solido rapporto con le agenzie di sicurezza marittima e con i centri di eccellenza tecnico-scientifica.

La dimensione internazionale costituisce un altro asse fondamentale. La protezione delle infrastrutture subacquee non può essere circoscritta ai confini nazionali, poiché gasdotti, dorsali dati e corridoi energetici attraversano aree geografiche estese e richiedono un coordinamento costante tra Stati e organizzazioni sovranazionali. Un orchestratore deve quindi possedere una naturale attitudine al coordinamento multilaterale, facilitando la convergenza di standard tecnici, la condivisione delle informazioni operative e lo sviluppo di capacità integrate di sorveglianza e risposta. In questo senso, modelli organizzativi basati su piattaforme pubblico-private permettono di unire la flessibilità innovativa dell'industria con la continuità decisionale delle istituzioni, generando un ecosistema in cui la sicurezza sia garantita già nella fase di progettazione delle infrastrutture, secondo una logica di "resilience by design".

L'esistenza di un orchestratore con tali prerogative rappresenterebbe il perno attorno al quale costruire un ecosistema europeo realmente coordinato. La frammentazione attuale, caratterizzata da verticali industriali che operano in modo autonomo — navale, energetico, digitale, robotico — potrebbe essere superata attraverso un modello che integri queste capacità in un quadro comune di difesa, sorveglianza e sostenibilità strategica. La leadership tecnologica, in questo contesto, diventerebbe non il risultato di singole eccellenze settoriali, ma l'espressione di un sistema coerente e interconnesso, capace di rispondere tempestivamente alle minacce multidimensionali che caratterizzano il dominio subacqueo contemporaneo. In tale prospettiva, l'orchestratore non svolge soltanto un ruolo gestionale, ma diviene un abilitatore strutturale della resilienza europea, in grado di trasformare la complessità del settore in un vantaggio strategico sostenibile nel tempo.

Capitolo 5.

Tecnologie underwater: sistemi autonomi, sensoristica e capacità operative avanzate

1. Premessa

L'evoluzione delle filiere industriali, la crescente complessità del quadro geopolitico e l'aumento costante dei fattori di rischio impongono oggi un ripensamento strategico e un rafforzamento strutturato delle capacità nell'ambito dell'underwater. Questo settore rappresenta un contesto strategico in cui convergono esigenze di sicurezza nazionale, protezione delle infrastrutture critiche, sovranità tecnologica e competitività industriale. La pressione esercitata dall'emergere di nuove minacce ibride, dalla vulnerabilità dei fondali marini e dalla dipendenza crescente da sistemi di comunicazione e sorveglianza subacquei rende necessario un approccio coordinato che integri innovazione scientifica, ricerca applicata e industrializzazione accelerata.

Il settore underwater richiede una strategia coerente, sistemica e orientata al lungo periodo, che valorizzi competenze multidisciplinari, investimenti mirati e capacità industriali integrate.

Le principali sfide da affrontare affondano le loro radici nella natura stessa dell'ambiente subacqueo.

In primis, la **comunicazione** nel contesto subacqueo è fortemente penalizzata dalle proprietà fisiche dell'ambiente, che rendono inefficace l'uso convenzionale delle radiofrequenze, impongono il ricorso a canali alternativi, come quello acustico, con capacità trasmissiva più ridotta e introducono vincoli significativi in termini di banda disponibile, portata, latenza, affidabilità e continuità del collegamento. Ciò limita in modo rilevante lo scambio tempestivo di dati e ordini, il coordinamento multi-assetto, il controllo dei veicoli e la gestione dinamica della missione. Lo sviluppo di **soluzioni di integrazione, gestione e orchestrazione di asset e veicoli** risulta essere cruciale per l'interoperabilità dei sistemi e la creazione di un ecosistema sinergico capace di supportare missioni di diversa natura in un ambiente spesso poco conosciuto e comunque estremo. In prospettiva, tali architetture dovranno evolvere da semplici sistemi di coordinamento verso mission e domain management system capaci di integrare supporto decisionale, allocazione dinamica dei task e gestione progressivamente autonoma delle priorità operative.

La maturazione del settore passa inevitabilmente dallo sviluppo di nuove generazioni di sistemi underwater. L'autonomia, l'endurance, la robustezza strutturale e la capacità di operare a profondità sempre maggiori impongono progressi nelle soluzioni di capacità decisionale autonoma, quelle propulsive, nei sistemi energetici oltre che nei sistemi di navigazione. A questi aspetti si collega direttamente la filiera del lancio, recupero e ricarica: un ecosistema efficace necessita di LARS affidabili, stazioni di docking anche subacquee e soluzioni di rifornimento energetico e scambio dati che abilitino cicli operativi continui e residenti.

Parallelamente, l'**evoluzione dei payload e della sensoristica** incide direttamente non solo sulla qualità dei dati raccolti, ma anche sulla capacità di rilevare, classificare, localizzare e seguire fenomeni, target e anomalie, nonché di supportare la navigazione, l'ispezione e il monitoraggio persistente. Sonar multibeam, imaging acustico ad alta risoluzione, modelli di Automatic Target Recognition e suite multi-modalità richiedono pipeline di elaborazione robuste e integrate, capaci di valorizzare dati eterogenei e di operare con livelli di tempestività coerenti con le esigenze della missione. In questo contesto, assume crescente rilievo anche la sensoristica distribuita, orientata al monitoraggio continuo di aree estese e infrastrutture lineari. Tra le tecnologie più rilevanti in tale ambito, in specifici contesti applicativi, la Distributed Acoustic Sensing abilita forme di monitoraggio passivo su lunga distanza, con applicazioni nella sorveglianza di aree sensibili (deep sea mining), delle infrastrutture, nella protezione portuale e nella rilevazione di eventi o anomalie.

Infine, la **simulazione avanzata e gli ambienti sintetici integrati con digital twin** costituiscono uno strumento fondamentale per ridurre rischi, accelerare l'industrializzazione e validare in modo iterativo algoritmi protocolli e configurazioni di missione prima dei trial reali, facilitando inoltre la valutazione comparativa delle soluzioni più idonee in funzione dei diversi scenari operativi. L'intera catena – dalla comunicazione alla gestione, dai veicoli ai payload – necessita di un'infrastruttura di modellazione e verifica integrata, capace di riprodurre scenari complessi e ottimizzare le soluzioni tecnologiche prima della loro messa in opera operativa.

2. Comunicazione subacquea

La comunicazione subacquea si distingue radicalmente da quella terrestre, poiché è basata quasi esclusivamente sulla propagazione acustica. Le caratteristiche fisiche dell'acqua impongono limiti significativi in termini di velocità di trasmissione, latenza e capacità informativa.

Il suono, sebbene rappresenti il mezzo più efficace per comunicare sott'acqua, presenta una velocità di propagazione molto inferiore rispetto alle onde elettromagnetiche. Questo genera ritardi che rendono difficile il coordinamento in tempo reale, specialmente su lunghe distanze. Inoltre, esiste una forte relazione tra frequenza e portata: frequenze elevate permettono un maggiore trasferimento di dati ma su distanze ridotte, mentre frequenze basse consentono comunicazioni più lunghe ma con capacità molto limitata.

Altri fenomeni, come riflessioni multiple ed effetto Doppler, introducono distorsioni che complicano ulteriormente la trasmissione. L'ambiente stesso, influenzato da temperatura, salinità e correnti, modifica continuamente le condizioni di propagazione, generando zone d'ombra e interruzioni improvvise del segnale.

Dal punto di vista energetico, la comunicazione rappresenta una delle attività più costose per un veicolo autonomo. Per questo motivo, le trasmissioni vengono limitate a informazioni essenziali, privilegiando l'elaborazione locale dei dati.

Le soluzioni più avanzate prevedono sistemi multimodali, che combinano comunicazioni acustiche con collegamenti ottici e magneto-induttivi per specifici contesti. L'uso di piattaforme di superficie come gateway consente inoltre di estendere la connettività e migliorare le prestazioni complessive della rete.

3. Gestione (comando e controllo / orchestrazione) di veicoli e fonti dati eterogenee

Le operazioni subacquee moderne richiedono sistemi avanzati di comando, controllo e orchestrazione capaci di gestire flotte di veicoli eterogenei in condizioni di connettività limitata. La complessità crescente delle missioni ha reso indispensabile un approccio basato su interoperabilità, autonomia e integrazione dei dati.

L'interoperabilità rappresenta il prerequisito fondamentale per operazioni multi-assetto. L'adozione di standard condivisi consente a piattaforme diverse di comunicare e cooperare, riducendo i vincoli tecnologici e migliorando la flessibilità operativa. In questo contesto, le data platform svolgono un ruolo centrale, fungendo da infrastrutture in grado di integrare, normalizzare e distribuire dati provenienti da sensori e sistemi differenti. La navigazione autonoma e la situational awareness costituiscono invece il cuore decisionale dei veicoli. L'assenza di segnali satellitari impone l'uso di sistemi inerziali e sonar avanzati, integrati da algoritmi di fusione dati in grado di ricostruire una rappresentazione dinamica dell'ambiente.

Il concetto di World Model introduce una dimensione superiore, permettendo di costruire una rappresentazione digitale aggiornata e semantica dello spazio operativo. Questo modello supporta la pianificazione della missione e la gestione dell'incertezza, consentendo al veicolo di prendere decisioni autonome anche in assenza di comunicazione.

Il Digital Twin completa questo approccio, replicando virtualmente il veicolo e il suo ambiente. Questa tecnologia permette di simulare scenari, prevedere comportamenti e supportare la stima dello stato operativo anche quando il contatto diretto con il mezzo è interrotto.

3.1 Orchestrazione dei veicoli

L'orchestrazione, a supporto delle funzioni di comando e controllo, rappresenta una capacità fondamentale per l'impiego coordinato di asset subacquei eterogenei,dove il successo della missione dipende dalla capacità di armonizzare compiti eterogenei in un ambiente privo di connettività costante. La gestione di queste piattaforme non può essere ridotta a un semplice pilotaggio remoto, ma si articola in una serie di funzioni critiche interdipendenti.

L'orchestrazione può essere centralizzata, distribuita o ibrida. Con l'aumentare dell'autonomia dei singoli asset, parte delle funzioni di coordinamento può essere svolta direttamente dalla squadra di veicoli, consentendo allocazione e riallocazione dei task, deconfliction e adattamento collaborativo della missione anche in assenza di un collegamento continuo con il comando centrale.

Per garantire l'efficacia operativa, le moderne soluzioni di orchestrazione devono assolvere a tre compiti principali, ognuno vitale per l'integrità del sistema.

In primis, la pianificazione strategica e l'allocazione dei task rappresentano la fase in cui gli obiettivi di alto livello vengono tradotti in istruzioni macchina. L'importanza qui risiede nella capacità del software di ottimizzare le risorse, distribuendo i compiti tra più veicoli in base alla loro autonomia residua, ai sensori equipaggiati e alla priorità operativa delle diverse funzioni, anche in presenza di eventi imprevisti o di variazioni dello scenario.

La gestione della comunicazione asincrona è vitale in quanto, a differenza dei droni aerei, i veicoli subacquei operano con larghezze di banda ridottissime. È fondamentale l'integrazione di gateway di superficie, ad esempio boe o USV, che fungano da traduttori tra il mondo acustico subacqueo e quello satellitare, garantendo che i dati critici raggiungano il comando centrale nonostante le interferenze ambientali.

Infine, il sistema di controllo deve monitorare costantemente la "salute" dei veicoli. Questo compito è cruciale per prevenire la perdita dell'asset. In caso di avaria, il sistema deve poter supportare l'attivazione di comandi di emergenza o procedure di riemersione automatica.

Dal punto di vista implementativo, l'orchestrazione dei sistemi subacquei si fonda su un insieme di architetture software concepite per gestire conflitti decisionali e assicurare livelli elevati di interoperabilità tra componenti eterogenee.

In uno scenario di sciame, l'orchestrazione assume una rilevanza ancora maggiore: il sistema non deve solo gestire i singoli veicoli, ma deve garantire l'assenza di conflitti nello spazio di manovra. Senza una gestione centralizzata o distribuita rigorosa, il rischio di collisioni o di sovrapposizioni nella raccolta dati renderebbe la missione inefficiente e costosa.

3.2 Interoperabilità, interfacce e standard

Con l'aumentare della complessità dei sistemi subacquei, l'interoperabilità diventa un elemento imprescindibile per garantire l'efficacia operativa, in particolare nei contesti multinazionali. In assenza di standard condivisi, ogni sistema rimarrebbe confinato nel proprio ecosistema tecnologico, limitando la possibilità di cooperazione e aumentando i costi di integrazione.

L'interoperabilità consente invece di trasformare una pluralità di asset in un sistema integrato, favorendo la sostituibilità dei componenti, riducendo la complessità gestionale e permettendo economie di scala. Essa contribuisce inoltre a rendere più sostenibile il ciclo di vita dei sistemi, facilitando aggiornamenti e integrazioni incrementali.

L'interoperabilità non coincide tuttavia con l'adozione di un singolo protocollo o standard: interfacce, modelli dati, protocolli e standard di comunicazione costituiscono gli elementi tecnici che la abilitano.I principali standard internazionali, in particolare quelli sviluppati in ambito NATO, riferimenti comuni per l'integrazione e lo scambio di informazioni tra sistemi eterogenei. Protocolli come JANUS permettono la comunicazione acustica di base tra veicoli di diversi Paesi, mentre standard come STANAG 4586 e STANAG 4564 garantiscono rispettivamente la compatibilità delle stazioni di controllo e la coerenza dei dati cartografici.

Accanto a questi, standard industriali come JAUS e quelli sviluppati da organismi quali SAE e ISO/IEC contribuiscono a definire un linguaggio comune per i sottosistemi, migliorando modularità e interoperabilità.

L'evoluzione più recente si orienta verso il paradigma degli Open Mission Systems, che porta i principi di modularità, apertura delle interfacce e interoperabilità nell'intero ciclo di vita del sistema. In questo modello, hardware e software diventano modulari e facilmente integrabili, consentendo di aggiungere

nuove capacità in modo rapido e senza interventi invasivi. Tale approccio, noto come “plug-and-fight”, rappresenta una delle principali direttrici di sviluppo per le future flotte unmanned.

3.3 Data Platform

Nel dominio subacqueo, la Data Platform assume un ruolo centrale e strategico, configurandosi come il nucleo cognitivo dell’intero ecosistema operativo. Essa non si limita a immagazzinare dati, ma li integra, li normalizza e li trasforma in informazioni utilizzabili per il processo decisionale.

In un contesto caratterizzato da comunicazioni intermittenti e latenze elevate, la piattaforma agisce come punto di riferimento condiviso, consentendo di mantenere una situational awareness coerente tra tutti gli attori del sistema. Allo stesso tempo, essa supporta l’aggiornamento del Digital Twin e la costruzione del World Model, fornendo i dati necessari per simulazioni e previsioni.

L’evoluzione delle Data Platform si orienta verso architetture distribuite, basate sul paradigma “edge-to-cloud”. Questo approccio consente di elaborare i dati direttamente a bordo dei veicoli, riducendo la necessità di trasmissione e migliorando l’efficienza energetica. L’impiego di algoritmi di intelligenza artificiale permette inoltre di filtrare e interpretare i dati in modo automatico, superando i limiti imposti dal rumore e dalle condizioni ambientali.

Una delle direttrici più promettenti è rappresentata dalla gestione semantica dell’informazione, che consente di attribuire significato operativo ai dati raccolti. In questo modo, i veicoli possono ricevere istruzioni basate su contesti e obiettivi, piuttosto che su coordinate statiche. Parallelamente, cresce l’importanza della sicurezza del dato, che richiede tecnologie in grado di garantire integrità e affidabilità lungo l’intera catena informativa.

3.4 World Model

Il World Model rappresenta l’impalcatura cognitiva che trasforma un veicolo autonomo da semplice esecutore di comandi a entità consapevole del contesto operativamente rilevante. La sua importanza risiede nella capacità di fornire una rappresentazione semantica, spaziale e temporale dell’ambiente subacqueo, integrando dati statici (cartografia batimetrica, infrastrutture critiche) con evidenze dinamiche raccolte in tempo reale (correnti, contatti sonar, variazioni di salinità). Le vie di sviluppo più promettenti convergono verso la modellazione probabilistica, fondamentale per gestire l’incertezza intrinseca dei sensori acustici in ambienti torbidi o rumorosi; un World Model avanzato non si limita a mappare un oggetto, ma ne stima l’identità e l’evoluzione futura, permettendo al veicolo di pianificare manovre evasive o di investigazione con un grado di autonomia decisionale superiore. Il futuro vedrà la transizione verso World Model collaborativi e distribuiti, dove la conoscenza non risiede più nel singolo asset, ma viene sincronizzata tra i vari nodi dello sciame e supportata dal Digital Twin. Questo approccio permetterà di mantenere una visione operativa coerente anche in condizioni di comunicazioni negate, poiché ogni veicolo potrà confrontare la realtà osservata con il modello predittivo condiviso, identificando istantaneamente anomalie o minacce che richiedono una deviazione dai task pre-programmati.

3.5 Navigazione e Obstacle Avoidance

Le soluzioni di navigazione autonoma e di Obstacle Avoidance costituiscono il pilastro dell'affidabilità per qualsiasi missione sottomarina prolungata, dove l'assenza di supervisione umana in tempo reale impone al veicolo una capacità reattiva e decisionale assoluta. L'importanza di queste tecnologie risiede nel garantire la sopravvivenza dell'asset e il successo del compito assegnato in ambienti non mappati o dinamici: la navigazione autonoma si sta evolvendo verso sistemi di Localizzazione e Mappatura Simultanea (SLAM) acustica, che permettono al veicolo di orientarsi con elevata precisione correggendo in tempo reale le derive dei sistemi inerziali (INS) grazie al riconoscimento delle caratteristiche del fondale. Parallelamente, l'Obstacle Avoidance sta compiendo il salto dai semplici algoritmi reattivi (basati sulla distanza minima) a sistemi di pianificazione predittiva alimentati dall'intelligenza artificiale. Queste soluzioni integrano i dati provenienti dai sonar a scansione frontale (FLS) per generare corridoi di volo sicuri che tengono conto delle limitazioni dinamiche del veicolo e delle turbolenze ambientali. Le vie di sviluppo future puntano sulla cooperazione inter-piattaforma, dove le informazioni sugli ostacoli rilevate da un nodo vengono trasmesse istantaneamente al resto della flotta, e sull'integrazione profonda con il World Model, consentendo al veicolo di distinguere tra un ostacolo fisso naturale e una minaccia mobile, ottimizzando così la traiettoria non solo per la sicurezza, ma anche per l'efficienza energetica e la discrezione acustica.

3.6 Situational Awareness

La situational awareness (consapevolezza situazionale) rappresenta la capacità di un sistema di percepire, comprendere e proiettare nel futuro lo stato dell'ambiente operativo, trasformando un isolato veicolo subacqueo in un elemento tattico intelligente. La sua importanza risiede nel colmare il divario tra la semplice raccolta di dati e la comprensione del loro significato: non è sufficiente rilevare un segnale acustico, ma è necessario classificarlo come una minaccia, un alleato o un elemento naturale per agire di conseguenza. Le vie di sviluppo si concentrano sulla fusione multisensoriale avanzata, dove algoritmi di intelligenza artificiale integrano segnali sonar, dati magnetometrici e immagini ottiche per superare i limiti di visibilità e rumore tipici del dominio sottomarino. Il futuro della situational awareness risiede nella distribuzione collaborativa della conoscenza: attraverso l'integrazione con la Data Platform e lo scambio di informazioni tramite protocolli standard come lo STANAG 4748 (JANUS), ogni veicolo contribuisce a una visione d'insieme condivisa. Questo permette di alimentare un World Model dinamico che abilita il comando a distanza a operare su un Digital Twin aggiornato in tempo reale, riducendo le incertezze operative e permettendo una risposta rapida a eventi imprevisti o minacce emergenti.

4. Sviluppo nuovi veicoli

L'evoluzione dei veicoli subacquei autonomi si sta delineando lungo traiettorie di sviluppo differenziate in base alla classe dimensionale, muovendosi verso una specializzazione che riflette le necessità di proiezione di potenza, persistenza e modularità richieste dai moderni scenari oprativi sia nei contesti civili che di protezione e difesa.

4.1 Veicoli

4.1.1 Small UUV (Portable/Lightweight)

I veicoli subacquei di piccole dimensioni rappresentano la componente più agile e flessibile del panorama unmanned, caratterizzandosi per la loro leggerezza, rapidità di dispiegamento e capacità di operare in maniera distribuita.

Questi sistemi, spesso lanciabili da un singolo operatore o da unità navali leggere, si inseriscono in un modello operativo basato sulla cooperazione tra più asset, evolvendo in alcuni contesti verso logiche di impiego sacrificabile.

Il loro contributo operativo risulta particolarmente rilevante nelle attività di Maritime Domain Awareness, dove consentono il monitoraggio capillare delle aree costiere e delle infrastrutture sottomarine. Essi trovano inoltre applicazione nelle operazioni di contromisure mine, nella sorveglianza persistente e in tutti quei contesti in cui la continuità della raccolta dati rappresenta un fattore strategico.

Dal punto di vista tecnologico, questi veicoli beneficiano di un costante processo di miniaturizzazione della sensoristica. L'integrazione di sonar ad alta risoluzione e sistemi di comunicazione compatti consente oggi a piattaforme di dimensioni ridotte di svolgere missioni un tempo riservate a sistemi più grandi e complessi. Tale evoluzione amplia significativamente le capacità operative, mantenendo al contempo precisione e affidabilità.

Un elemento distintivo della categoria è rappresentato dal contenimento dei costi. La possibilità di impiegare piattaforme economiche consente di accettare la perdita del singolo asset senza impatti rilevanti sul sistema complessivo. Questa caratteristica rende gli Small UUV particolarmente adatti a operazioni in ambienti ad alto rischio e ad alta incertezza.

4.1.2 Medium UUV (Modular/Heavyweight)

I veicoli subacquei di classe media costituiscono oggi il fulcro delle flotte autonomia, grazie a un equilibrio tra prestazioni, flessibilità e capacità operativa. Essi rappresentano una soluzione intermedia tra i sistemi leggeri e le piattaforme strategiche di grandi dimensioni, combinando portabilità relativa con capacità di missione estese.

La modularità è la caratteristica che più distingue questa categoria. Le architetture progettate secondo principi modulabili consentono di adattare rapidamente il veicolo a diverse missioni, semplicemente sostituendo o integrando i payload. Questo permette di coprire un ampio spettro di applicazioni, dall'intelligence alla sorveglianza, dalla guerra antisommergibile alla mappatura del fondale.

Oltre alla flessibilità strutturale, i Medium UUV si distinguono per la loro crescente capacità di elaborazione dati. L'integrazione di sistemi di edge computing consente di analizzare grandi quantità di informazioni direttamente a bordo, riducendo la necessità di trasmissione e migliorando l'efficienza energetica. In questo modo, il veicolo diventa un nodo intelligente all'interno di un sistema distribuito, contribuendo attivamente alla costruzione del quadro operativo.

Dal punto di vista ingegneristico, tali piattaforme presentano forme idrodinamiche ottimizzate e sistemi energetici avanzati, che permettono operazioni prolungate a profondità intermedie. La loro versatilità li rende particolarmente adatti a missioni complesse, spesso considerate troppo rischiose o onerose per sistemi con equipaggio.

L’integrazione con piattaforme tradizionali rappresenta un ulteriore punto di forza. La compatibilità con sistemi di lancio standard consente un impiego sinergico con sottomarini e navi di superficie, ampliando le capacità operative senza richiedere modifiche strutturali rilevanti.

4.1.3 Large e Extra-Large UUV (XLUUV)

I veicoli subacquei di grandi e grandissime dimensioni rappresentano il livello più avanzato dell’evoluzione tecnologica nel dominio underwater. Queste piattaforme sono progettate per operazioni di lunga durata e alta complessità, estendendo significativamente la portata strategica delle missioni.

Gli L-UUV costituiscono una prima fascia, caratterizzata da dimensioni importanti e architetture modulari capaci di ospitare sensori avanzati o altri veicoli più piccoli. Essi svolgono un ruolo fondamentale nella preparazione dell’ambiente operativo e nella raccolta sistematica di informazioni su larga scala.

Gli XL-UUV rappresentano invece il paradigma del “sottomarino autonomo”. Dotati di sistemi energetici avanzati e capacità di carico elevate, questi veicoli possono operare per lunghi periodi senza supporto esterno, coprendo distanze oceaniche e svolgendo missioni complesse in completa autonomia.

Dal punto di vista operativo, tali piattaforme introducono una nuova dimensione strategica. La loro capacità di fungere da nodi madre, rilasciando sensori o altri veicoli, consente la creazione di reti distribuite di osservazione e intervento. Questo approccio aumenta la resilienza e l’efficacia delle operazioni, riducendo al contempo il rischio per il personale umano.

L’adozione di tecnologie di Digital Twin rappresenta un elemento cruciale per la gestione di questi sistemi. La possibilità di monitorare e simulare il comportamento del veicolo consente di ottimizzare le prestazioni, prevenire guasti e garantire la continuità operativa anche in condizioni di isolamento.

4.1.4 Work-Class UUV

I Work-Class UUV segnano il passaggio definitivo da sistemi di osservazione a piattaforme capaci di intervento diretto. Questi veicoli sono progettati per interagire fisicamente con l’ambiente, eseguendo operazioni complesse come manutenzioni, installazioni e recuperi.

L’interazione fisica introduce sfide ingegneristiche significative. La necessità di mantenere una posizione stabile durante le operazioni richiede sistemi di controllo avanzati in grado di compensare le forze generate dai manipolatori. Inoltre, la percezione tridimensionale dell’ambiente è complicata dalla torbidità dell’acqua e dalla limitata efficacia dei sensori ottici.

Le soluzioni adottate includono sistemi di propulsione avanzata per la stabilizzazione, manipolatori elettrici con feedback di forza e tecnologie di percezione multimodale. L’integrazione di queste tecnologie consente di ottenere un controllo preciso e affidabile anche in condizioni operative difficili.

L’autonomia rappresenta un ulteriore elemento di sfida tecnologica

4.2 Lancio e recupero

Il lancio e il recupero dei veicoli subacquei autonomi rappresentano uno dei nodi critici più significativi dell’intero ciclo operativo degli UUV, ponendosi come il vero collo di bottiglia di un ecosistema che punta alla piena autonomia e alla continuità delle operazioni. Sebbene il lancio sia spesso un’operazione relativamente semplice, talvolta facilitata dalla sola forza di gravità, il recupero introduce una complessità

ingegneristica radicale che coinvolge la dinamica dei fluidi, la precisione dei sistemi di controllo, l'affidabilità meccatronica e la resistenza strutturale sia del veicolo sia degli apparati di sollevamento.

L'interfaccia tra ambiente marino e piattaforme di superficie o subacquee costituisce infatti una regione ad alta turbolenza, dove fattori ambientali, vincoli fisici e limiti tecnologici si combinano generando un insieme di condizioni operative estremamente sfidanti.

L'ambiente oceanico si pone come il principale antagonista del recupero: il moto ondoso modifica costantemente la posizione relativa tra nave e veicolo, generando variazioni rapide e imprevedibili che, oltre il Sea State 3–4, aumentano drasticamente il rischio di impatti tra l'UUV e lo scafo della piattaforma madre. Le correnti subacquee alterano le traiettorie di avvicinamento, imponendo agli UUV una potenza propulsiva e una capacità di controllo superiori per mantenere l'assetto durante le fasi più delicate del rendez-vous. A ciò si aggiunge la torbidità dell'acqua, che limita o rende impraticabile l'impiego di sensori ottici nelle procedure di docking, costringendo all'uso di sistemi acustici più costosi e complessi. Sul lungo periodo, fenomeni come corrosione, biofouling e depositi marini degradano sensori e meccanismi di aggancio, aumentando l'incertezza operativa e richiedendo interventi di manutenzione frequenti per garantire l'affidabilità del sistema.

La dimensione ingegneristica del problema si manifesta in una serie di fenomeni che mettono alla prova la robustezza dei sistemi LARS. Durante l'estrazione dall'acqua, il passaggio dalla spinta idrostatica al peso effettivo del veicolo genera picchi di tensione sui cavi, fenomeni noti come snap loads, che possono compromettere sia la struttura dell'UUV sia le attrezzature di sollevamento. Parallelamente, la navigazione relativa diventa un requisito essenziale poiché, in assenza di GPS, il veicolo deve stimare con estrema precisione la propria posizione rispetto al punto di recupero attraverso sistemi acustici come gli USBL, noti per la loro sensibilità al multipath, o tramite soluzioni inerziali che, pur precise, soffrono di deriva progressiva. La comunicazione a corto raggio fra UUV e piattaforma madre, necessaria per coordinare le manovre finali, resta limitata dalle caratteristiche fisiche dell'ambiente marino, costringendo all'impiego di modem acustici a bassa banda o, nei casi più ottimistici, di collegamenti ottici blu/verdi con portate molto contenute. L'UUV deve inoltre possedere un livello di autonomia decisionale sufficiente a riconoscere istantaneamente un errore di allineamento e ad abortire la manovra senza compromettere la propria integrità o quella della piattaforma di recupero.

La complessità del recupero cresce ulteriormente quando la piattaforma madre è un sottomarino. La regione di scia prodotta da un battello in movimento genera vortici e turbolenze che rendono estremamente complesso l'approccio di un UUV al tubo lanciasiluri o a un modulo esterno di recupero. In questi scenari, il veicolo deve essere in grado di stabilizzare la propria rotta attraversando un campo di moto fortemente caotico, mantenendo al contempo un profilo di silenziosità compatibile con le esigenze di discrezione tipiche delle operazioni subacquee. Le soluzioni meccaniche o acustiche impiegate non possono generare segnali che rivelino la posizione del sottomarino, imponendo un livello di sofisticazione ingegneristica molto più elevato rispetto ai sistemi destinati alle navi di superficie.

Nonostante queste sfide, l'evoluzione tecnologica sta portando a una progressiva maturazione dei sistemi LARS, orientata verso l'automazione e l'affidabilità anche in condizioni ambientali avverse. Sulle navi di superficie si stanno affermando sistemi con compensazione attiva del moto, capaci di neutralizzare parte dei movimenti verticali del ponte e ridurre le sollecitazioni sugli UUV durante il recupero. L'impiego di sistemi di visione artificiale, lidar subacquei e tecniche avanzate di optical guidance promette di migliorare la precisione delle ultime fasi del docking, mentre soluzioni come imbuto flessibili o le reti

di cattura trainate cercano di aumentare la tolleranza agli errori di traiettoria durante l'avvicinamento. Parallelamente, la diffusione di connettori induttivi per la ricarica e il trasferimento dati mira a eliminare la necessità di agganci meccanici a contatto, riducendo così la vulnerabilità ai fenomeni di corrosione e incrostazione.

Le soluzioni di lancio e recupero variano sensibilmente in base alla classe del veicolo. Gli UUV di piccole e medie dimensioni beneficiano della loro maneggevolezza, che permette operazioni da banchine, gommoni o navi leggere, ma la ridotta massa li rende particolarmente sensibili al moto ondoso. I veicoli di grande taglia richiedono invece infrastrutture più complesse, come gru a "A", binari dedicati o, nelle soluzioni più avanzate, sistemi di lancio e recupero attraverso moon pool che isolano il veicolo dalle perturbazioni superficiali. Per gli UUV extra-large, la tendenza attuale è verso il lancio diretto da banchina, con l'obiettivo strategico di eliminare la dipendenza da navi appoggio, mentre il recupero da piattaforme navali è limitato a unità anfibie dotate di well deck. La possibilità di recupero da sottomarini resta oggi preclusa per limiti dimensionali, ma i concetti di futura generazione prevedono battelli madre capaci di ospitare e rilasciare grandi droni subacquei.

Queste innovazioni mirano a trasformare il lancio e il recupero da operazioni delicate e rischiose a routine affidabili e ripetibili, abilitando cicli operativi 24/7 e un nuovo paradigma di persistenza nel dominio subacqueo. In questo senso, i sistemi LARS non sono più semplici componenti di servizio, ma diventano veri e propri abilitatori strategici, indispensabili per colmare il divario tra prototipi sperimentali e capacità operative mature.

4.3 Docking e ricarica

Lo sviluppo di soluzioni di docking e ricarica subacquea rappresenta una delle direttrici più rilevanti per l'evoluzione futura degli UUV. L'obiettivo è quello di abilitare una presenza continua sul fondale, riducendo la dipendenza da piattaforme di superficie e trasformando i veicoli in asset residenti. In questo scenario, le docking station subacquee assumono un ruolo centrale, configurandosi come infrastrutture permanenti per la gestione energetica e informativa dei sistemi.

Tuttavia, la realizzazione di tali soluzioni comporta sfide ingegneristiche significative. La fase di allineamento tra veicolo e stazione richiede una precisione molto elevata, difficilmente raggiungibile in un ambiente caratterizzato da correnti, turbolenze e visibilità ridotta. Anche la gestione termica rappresenta un aspetto critico, poiché i processi di ricarica generano calore che può influire sulla stabilità dei componenti.

L'ambiente marino introduce inoltre problemi legati alla corrosione e al biofouling, che possono compromettere l'efficienza delle interfacce di connessione. Per affrontare queste criticità, vengono impiegate tecnologie di guida avanzata basate su segnali ottici e acustici, integrate da sistemi di assistenza magnetica e geometrie di ingresso progettate per facilitare l'allineamento.

Le architetture di ricarica si orientano principalmente verso sistemi induttivi, che garantiscono isolamento elettrico e ridotta manutenzione. Anche i connettori wet-mate mantengono un ruolo importante per applicazioni ad alta potenza, sebbene richiedano maggiore attenzione in termini di manutenzione e protezione.

Le docking station di nuova generazione si configurano come nodi integrati all'interno di reti energetiche e di comunicazione, consentendo ai veicoli di operare per periodi prolungati e di trasmettere dati in modo efficiente. Questo approccio abilita un nuovo paradigma operativo, basato sulla presenza continua e sulla capacità di intervento immediato.

4.4 Navigazione

La navigazione subacquea costituisce una delle sfide più complesse dell'ingegneria dei sistemi autonomi, poiché il mezzo marino attenua quasi completamente le onde elettromagnetiche e impedisce l'utilizzo continuo dei riferimenti satellitari. L'assenza del GPS obbliga gli UUV a basarsi su una combinazione articolata di sensori acustici, inerziali e ottici, ognuno dei quali contribuisce a ricostruire la posizione stimata del veicolo in un ambiente dinamico, non lineare e spesso intrinsecamente ostile. Il problema fondamentale risiede nella deriva progressiva degli strumenti interni: senza un riferimento esterno assoluto, anche errori minimi nei calcoli di velocità e accelerazione si accumulano nel tempo, generando scostamenti crescenti tra posizione stimata e posizione reale. Questa incertezza si amplifica soprattutto durante le missioni di lunga durata, in cui un'imprecisione iniziale di pochi millimetri può tradursi, dopo ore di navigazione, in errori dell'ordine dei chilometri.

Il contesto operativo aggrava ulteriormente la complessità. La velocità del suono in acqua, parametro alla base di ogni sistema acustico, varia in funzione di temperatura, salinità e pressione e introduce fenomeni di rifrazione che distorcono la propagazione dei segnali. Tali variazioni possono generare vere e proprie zone d'ombra acustiche in cui il veicolo diventa temporaneamente irraggiungibile o riceve dati alterati, compromettendo la continuità del tracciamento. Gli scenari costieri o sotto i ghiacci aggiungono ulteriori elementi di incertezza: fondali mutevoli, ostacoli non mappati e correnti improvvise richiedono una navigazione fortemente reattiva e sistemi di obstacle avoidance strettamente integrati con la localizzazione. A ciò si somma il fattore energetico: strumenti ad alta precisione, come sonar attivi o sensori LBL complessi, comportano consumi elevati che riducono l'autonomia complessiva e costringono a un bilanciamento continuo tra precisione e durata della missione.

La risposta tecnologica a queste limitazioni si è evoluta nella direzione della sensor fusion, un paradigma secondo cui diversi sistemi di misura cooperano per compensare reciprocamente i loro limiti. Il nucleo di questo approccio è l'INS, un sistema autonomo basato su accelerometri e giroscopi ad alta precisione che calcola la posizione a partire dal moto del veicolo. Pur essendo non rilevabile e continuamente operativo, l'INS soffre intrinsecamente di deriva, motivo per cui necessita di riferimenti periodici per evitare una divergenza progressiva. Tale deriva viene significativamente ridotta dai DVL, sonar orientati verso il fondale che misurano la velocità rispetto al suolo attraverso l'effetto Doppler. Quando combinati, INS e DVL creano una soluzione complementare: il primo garantisce la continuità del tracciamento, mentre il secondo fornisce correzioni periodiche basate su dati reali.

In contesti in cui è disponibile una nave madre o una stazione fissa, sistemi USBL possono fornire un riferimento acustico esterno basato sulla triangolazione dell'eco rispedito dal veicolo. Si tratta di strumenti fondamentali durante le fasi delicate di lancio, recupero e docking, in cui la posizione relativa tra l'UUV e la piattaforma madre deve essere conosciuta con grande precisione. In operazioni pianificate su aree più ampie, l'utilizzo di reti LBL posizionate sul fondale permette di ottenere un sistema di posizionamento subacqueo con un livello di accuratezza analogo a un GPS locale, compensando gli effetti delle derive interne anche per missioni prolungate.

Parallelamente alle tecnologie mature, emergono soluzioni che promettono un salto generazionale. Tra queste, la navigazione quantistica rappresenta forse la prospettiva più radicale: accelerometri basati su interferometria atomica, operanti con atomi ultra-freddi prossimi allo zero assoluto, potrebbero ridurre la deriva a livelli trascurabili per mesi, consentendo la navigazione completamente autonoma e svincolata

da qualunque riferimento esterno. Anche la navigazione geofisica sta acquisendo rilevanza grazie a sistemi come il Terrain Aided Navigation, che confrontano le mappe del fondale pre-caricate con il profilo batimetrico rilevato in tempo reale, e la navigazione magnetica, basata sulle anomalie locali del campo geomagnetico, utilizzate come una sorta di impronta digitale naturale dell'area operativa. A questi si aggiungono approcci bio-ispirati che imitano le modalità con cui mammiferi marini e pesci utilizzano segnali deboli, correnti e variazioni chimico-fisiche per orientarsi su lunghe distanze.

La navigazione subacquea moderna si configura quindi come un equilibrio complesso tra limiti fisici, architetture sensoriali e algoritmi avanzati di fusione dati. L'integrazione sinergica di INS, DVL, USBL, LBL e tecnologie emergenti — dai sensori quantistici alla geolocalizzazione geofisica — definisce un ecosistema di soluzioni destinate a trasformare radicalmente l'autonomia, la precisione e la resilienza delle future generazioni di UUV. In questo quadro, la capacità di mantenere una stima di posizione affidabile non è solamente un requisito di navigazione, ma il prerequisito essenziale per qualunque forma avanzata di pianificazione, coordinamento e operatività nel dominio subacqueo.

4.5 Performance

Le prestazioni dei veicoli subacquei autonomi sono il risultato di un equilibrio complesso tra autonomia, profondità operativa, velocità e silenziosità, quattro dimensioni tra loro strettamente interdipendenti e spesso in competizione. L'endurance rappresenta storicamente il limite più evidente delle piattaforme underwater, poiché la densità energetica delle batterie deve confrontarsi con un ambiente ostile caratterizzato da basse temperature, alte pressioni e fabbisogni energetici crescenti. Le batterie agli ioni di litio, per quanto oggi rappresentino lo standard industriale, presentano limiti fisici nello stoccaggio energetico e devono alimentare non solo la propulsione, ma anche una sensoristica sempre più sofisticata e processi di calcolo intensivi legati a modelli di navigazione, interpretazione del mondo e intelligenza artificiale di bordo. Per superare tali vincoli, i veicoli più grandi adottano architetture a propulsione indipendente dall'aria, come celle a combustibile all'idrogeno, in grado di estendere l'autonomia da pochi giorni a diversi mesi. Parallelamente, i glider subacquei rappresentano un paradigma alternativo fondato sulla variazione controllata della galleggiabilità: rinunciando alle eliche a favore di un moto oscillatorio, riducono il fabbisogno energetico a livelli minimi e possono operare consecutivamente per un anno. Anche le tecniche di energy harvesting, che sfruttano gradienti termici o correnti marine, si stanno affermando come soluzioni complementari per abilitare missioni a lunghissima durata.

Alla sfida dell'autonomia si affianca quella della profondità operativa. Scendere oltre i tremila metri implica affrontare pressioni superiori alle trecento atmosfere, un ambiente in cui i materiali tradizionali diventano troppo pesanti o non garantiscono una resistenza sufficiente. La progettazione degli scafi richiede quindi l'impiego di compositi avanzati, come fibre di carbonio a filamento avvolto e ceramiche strutturali, capaci di offrire un elevato rapporto resistenza-peso. Le schiume sintattiche completano l'architettura, fornendo galleggiabilità anche in condizioni estreme grazie alla presenza di microsfere di vetro che resistono alla compressione. In alcuni casi, l'elettronica non viene più protetta da involucri rigidi ma immersa in olio dielettrico compensato, tecnica che permette di uniformare la pressione interna a quella dell'ambiente e di prevenire fenomeni di schiacciamento o infiltrazione.

Il tema della velocità introduce ulteriori compromessi. Poiché l'acqua è quasi ottocento volte più densa dell'aria, la resistenza idrodinamica aumenta in modo quadratico con la velocità, comportando un con-

sumo energetico che cresce in maniera esponenziale. A elevate velocità si amplificano inoltre vibrazioni e fenomeni di cavitazione, i quali degradano la qualità dei dati sonar e aumentano la firma acustica del mezzo. Alcune soluzioni sperimentali, come la supercavitazione, offrono prestazioni eccezionali avvolgendo il veicolo in una bolla di gas e riducendo drasticamente l'attrito, ma sono oggi limitate a piattaforme specializzate come i siluri. Più mature risultano invece le superfici biomimetiche ispirate alla pelle dello squalo, capaci di ridurre la turbolenza nello strato limite, e i sistemi di propulsione jet-pump, particolarmente efficienti alle velocità elevate e già diffusi nei sottomarini d'attacco contemporanei.

La silenziosità emerge come requisito cardine tanto nel dominio militare quanto in quello scientifico, dove evitare disturbi acustici è essenziale per non alterare l'ambiente osservato. Il rumore generato dai motori elettrici e dalle eliche, in particolare quello dovuto alla cavitazione, può compromettere la furtività e ridurre la qualità degli strumenti di sensing. Per mitigare tali fenomeni, le architetture più moderne adottano thruster a trasmissione anulare, in cui l'elica è mossa da un attuatore magnetico periferico, eliminando l'albero centrale e riducendo in modo significativo le vibrazioni. A livello sperimentale si stanno affermando anche soluzioni di propulsione magnetoidrodinamica, che muovono l'acqua attraverso campi elettrici e magnetici senza parti meccaniche in movimento e garantiscono quindi un funzionamento virtualmente silenzioso. Infine, l'introduzione di algoritmi di controllo ottimizzati per il "silent running" consente di evitare frequenze di risonanza e ridurre l'emissione acustica durante le fasi più delicate della missione.

L'interrelazione tra le quattro dimensioni fondamentali conduce inevitabilmente a un sistema di compromessi: una maggiore velocità riduce l'autonomia, scafi rinforzati per grandi profondità aumentano peso e resistenza idrodinamica, mentre massimizzare la silenziosità limita la velocità sostenibile. Le soluzioni contemporanee si collocano in questo spazio multidimensionale, puntando a bilanciare le prestazioni tramite materiali avanzati, geometrie ottimizzate e tecniche di controllo adattivo. Sul fronte delle innovazioni, la robotica morfologica apre nuove prospettive: sistemi propulsivi ispirati al nuoto dei tonni, delle razze o di altri organismi marini potrebbero offrire una combinazione senza precedenti di efficienza, manovrabilità e silenziosità, superando alcune limitazioni strutturali dei sistemi tradizionali. L'imitazione dei movimenti sinuosi e delle deformazioni strutturali dei pesci potrebbe ridurre drasticamente l'impatto energetico e acustico della propulsione, avvicinando gli UUV a un modello di mobilità più naturale e sostenibile.

5. Sviluppo nuovi payload / sensoristica

Lo sviluppo dei payload destinati ai veicoli subacquei autonomi rappresenta una delle sfide più complesse dell'ingegneria marina, poiché richiede l'integrazione di sensori, strumenti scientifici e, in alcuni casi, sistemi d'arma in un ambiente che impone vincoli stringenti di spazio, energia e capacità comunicativa.

Il payload definisce il valore operativo dell'UUV: senza di esso, il veicolo si ridurrebbe a una semplice piattaforma di trasporto, priva della capacità di generare informazione o di svolgere funzioni specialistiche. Per questa ragione, la progettazione dei carichi utili deve affrontare un insieme di fattori fisici, ambientali e architetturali che condizionano profondamente l'intero ciclo della missione.

Il primo insieme di vincoli è riconducibile alle dimensioni, ai pesi e ai consumi energetici del payload. Ogni centimetro cubo e ogni watt assorbito riducono l'autonomia del veicolo e ne influenzano le dinamiche di galleggiamento e propulsione.

La necessità di miniaturizzare la sensoristica senza comprometterne la risoluzione rappresenta un traguardo ingegneristico costante, soprattutto quando si devono alloggiare sonar ad alta definizione, telecamere ottiche, moduli di comunicazione o carichi specialistici in volumi estremamente limitati. Anche la stabilità del veicolo risente fortemente delle variazioni di massa introdotte dal rilascio di un payload: quando un UUV posa una mina, deploya un mini-drone o rilascia qualsiasi oggetto, il baricentro si modifica bruscamente. Per evitare sbandamenti o variazioni indesiderate della quota, entrano in gioco sistemi di compensazione rapida del trim e del ballast, che ristabiliscono immediatamente l'assetto idrodinamico ottimale.

Una seconda dimensione critica è legata all'interazione tra i sensori del payload e l'elettronica di bordo del veicolo. I sonar attivi, per esempio, possono interferire con i sistemi di navigazione o di comunicazione acustica, mentre i disturbi elettromagnetici generati dagli apparati digitali possono contaminare i dati provenienti da sensori sensibili. La progettazione acustica ed elettromagnetica assume quindi un ruolo fondamentale, imponendo strategie di isolamento, filtraggio e sincronizzazione che garantiscano la purezza del dato e l'affidabilità delle misurazioni. Inoltre, la profondità operativa introduce ulteriori complessità: i payload devono sopportare pressioni esterne elevate, condizioni corrosive e variazioni termiche significative. Ciò richiede contenitori stagni altamente resistenti o tecnologie "pressure-tolerant", nelle quali elettronica e componentistica sono progettate per funzionare direttamente in condizioni di pressione ambientale.

Parallelamente ai vincoli fisici, l'evoluzione dei payload procede verso modelli architetturali sempre più modulari e riconfigurabili. Le soluzioni "plug-and-play", ispirate agli standard OMS e ad approcci di Open Mission Systems, permettono di trasformare rapidamente un UUV da piattaforma di contromisure mine a asset per ricognizione elettronica o caratterizzazione ambientale. I moduli cilindrici sostituibili riducono drasticamente i tempi di riconfigurazione e rendono più sostenibile la gestione operativa di flotte eterogenee. Allo stesso modo, le tecniche di rilascio "cold launch" consentono di espellere mini-UUV, sensori o carichi tattici senza l'impiego di attuatori ad alto consumo o generatori termici, preservando la firma acustica e riducendo il rischio di interferenze.

Uno degli sviluppi più significativi non è tuttavia legato alla componente fisica del payload, bensì alla sua intelligenza computazionale. L'integrazione dell'edge processing e, in particolare, di soluzioni basate su intelligenza artificiale a bordo, permette di analizzare localmente immagini sonar, sequenze video o dati multisensoriali, superando i limiti imposti dai modem acustici, incapaci di trasmettere grandi quantità di dati grezzi. L'UUV non invia più set completi di misurazioni, ma produce informazioni derivate, mappe interpretate, classificazioni preliminari di oggetti o anomalie rilevate nell'ambiente circostante. Questo approccio riduce il fabbisogno di banda, migliora la reattività tattica e conferisce al veicolo un grado di autonomia superiore, una caratteristica essenziale nelle missioni in cui la comunicazione con la superficie è sporadica o intermittente.

5.1 Imaging, ATR e classificazione dei target

L'imaging subacqueo e il riconoscimento automatico dei bersagli costituiscono due pilastri fondamentali nella capacità degli UUV di operare in modo realmente autonomo in ambienti complessi. La natura del mezzo marino impone condizioni estreme che differenziano radicalmente la percezione subacquea da quella aerea o terrestre.

La propagazione del segnale rappresenta il primo grande limite: la luce e le onde radio vengono assorbite rapidamente dall'acqua, riducendo l'efficacia dei sensori ottici a pochi metri di distanza, mentre il suono, pur propagandosi più lontano, è soggetto a riflessioni su superficie e fondale, distorsioni dovute agli strati termici e acustici, e interferenze ambientali come rumore biologico o traffico navale. A ciò si aggiunge l'effetto della torbidità: le particelle in sospensione – sabbia, sedimenti o "neve marina" – generano back-scattering, causando la diffusione indesiderata della luce o dell'energia acustica prima che raggiunga il bersaglio, con il risultato di immagini degradate, sfocate o immerse in una sorta di nebbia acustica.

La variabilità dell'aspetto degli oggetti sul fondale complica ulteriormente l'elaborazione dei dati. Un medesimo oggetto, come una mina o un relitto di piccole dimensioni, può apparire drasticamente diverso in base all'angolo di incidenza del sonar o dell'illuminazione ottica, introducendo ambiguità nelle procedure di riconoscimento. L'UUV deve quindi interpretare rappresentazioni visive e acustiche altamente variabili e, spesso, incomplete. Al contempo, i vincoli infrastrutturali di bordo limitano la potenza di calcolo disponibile: algoritmi complessi di deep learning, oggi ampiamente impiegati nel settore terrestre, non possono fare affidamento su cloud esterni. L'UUV è obbligato a processare a bordo volumi di dati che raggiungono i terabyte, sfruttando architetture di edge computing a basso consumo e hardware miniaturizzato, senza compromettere l'autonomia energetica.

Per superare questi limiti ambientali e computazionali si ricorre a un insieme di tecnologie di imaging avanzato, progettate per "vedere" in condizioni impossibili per i soli sensori convenzionali. Il Synthetic Aperture Sonar (SAS) rappresenta la punta di diamante tra le tecnologie acustiche. Combinando i segnali acquisiti durante il movimento dell'UUV, il SAS sintetizza un'antenna virtuale molto più lunga di quella fisicamente installabile su un veicolo. Questa tecnica consente di ottenere una risoluzione costante anche a centinaia di metri dal bersaglio, generando immagini quasi fotografiche del fondale, tanto dettagliate da distinguere elementi millimetrici come la filettatura di un bullone su un relitto distante decine o centinaia di metri.

In parallelo, le tecnologie ottiche cercano di sfruttare quella porzione dello spettro visibile che meno viene attenuata dall'acqua. Il LiDAR subacqueo, basato su laser nelle frequenze blu-verdi, permette di generare modelli tridimensionali ad altissima risoluzione a distanze ridotte, rivelandosi fondamentale per l'ispezione di strutture, per operazioni di manipolazione di precisione e per la verifica di danni o anomalie non rilevabili dai sonar. Tecniche come il range-gated imaging introducono una gestione temporale intelligente dell'esposizione ottica: sincronizzando il lampo di illuminazione con l'apertura dell'otturatore, l'immagine catturata seleziona esclusivamente la luce riflessa dal bersaglio alla distanza desiderata, eliminando quella dispersa dalle particelle sospese. Questo approccio permette di ottenere immagini significativamente più nitide anche in acque ad alta torbidità.

L'elaborazione dei dati acquisiti da questi sensori richiede un sistema di riconoscimento autonomo capace di trasformare informazioni grezze in valutazioni tattiche.

L'Automatic Target Recognition (ATR) consente all'UUV di identificare mine, relitti o oggetti d'interesse senza richiedere l'intervento umano. Le reti neurali convoluzionali vengono ottimizzate attraverso tecniche di compressione e adattate all'hardware di bordo, consentendo l'esecuzione di modelli IA anche su processori a basso consumo. L'analisi dell'ombra acustica rappresenta un elemento distintivo dell'ATR subacqueo: spesso la proiezione dell'oggetto sul fondale contiene informazioni dimensionali e morfologiche più affidabili dell'eco diretta. L'ombra rivela l'altezza, il profilo e in alcuni casi la natura del bersaglio, migliorando significativamente la robustezza dell'identificazione.

La sensor fusion costituisce una componente essenziale nell'affrontare l'ambiguità intrinseca dei singoli sensori. Combinando dati acustici, magnetometrici e ottici, l'UUV ottiene una visione integrata dell'ambiente: un cilindro rilevato dal sonar che coincide con una lettura magnetica anomala presenta una probabilità elevata di essere una mina metallica, mentre un oggetto privo di firma magnetica può essere classificato come roccia o detrito. Le piattaforme più avanzate implementano anche forme di apprendimento in-situ, adattando i modelli di riconoscimento alle caratteristiche specifiche del fondale locale. Questo riduce sensibilmente i falsi allarmi causati da elementi naturali ricorrenti nelle aree operative.

L'integrazione tra tecniche di imaging e ATR garantisce all'UUV la capacità di operare in modo realmente autonomo. Senza questi strumenti, il veicolo dovrebbe limitarsi a registrare i dati per un'analisi successiva da parte di un operatore umano, rallentando drasticamente l'esecuzione della missione e aumentando la dipendenza dal recupero fisico del mezzo. Con un ATR affidabile, invece, l'UUV può comunicare in tempo reale alla piattaforma di comando il rilevamento di una mina o di un oggetto d'interesse, trasmettendo un semplice messaggio acustico con le coordinate e proseguendo immediatamente la missione. Questo paradigma riduce i tempi operativi, aumenta la sicurezza e permette una gestione distribuita e intelligente dello spazio subacqueo.

5.2 Distributed Acoustic Sensing

Il Distributed Acoustic Sensing (DAS) rappresenta una trasformazione radicale nell'ambito del monitoraggio subacqueo, poiché permette di convertire un comune cavo in fibra ottica in una linea continua di migliaia di sensori acustici virtuali. La capacità di rilevare vibrazioni e pressioni lungo distanze dell'ordine delle decine o centinaia di chilometri conferisce a questa tecnologia un valore strategico per la sorveglianza dei fondali, la protezione delle infrastrutture critiche e l'individuazione di attività sottomarine non cooperative, incluse quelle condotte da sottomarini o UUV avversari. Tuttavia, il passaggio da dimostratori di laboratorio a sistemi operativi in mare aperto richiede di affrontare un insieme di sfide ambientali, fisiche e computazionali che incidono profondamente sulla stabilità, la sensibilità e la robustezza del sistema.

Il primo ostacolo riguarda il rapporto segnale-rumore. Il DAS si basa sul backscattering di Rayleigh, un fenomeno intrinsecamente debole derivante da microscopiche imperfezioni presenti nella fibra ottica. Su distanze crescenti, tipicamente superiori ai cinquanta o cento chilometri, la frazione di luce riflessa diventa estremamente ridotta e tende a essere sommersa dal rumore elettronico dell'interrogatore, compromettendo la capacità di rilevare segnali provenienti dall'ambiente circostante. A questo limite si somma la presenza di punti di fading, aree lungo il cavo in cui interferenze distruttive attenuano o annullano temporaneamente la risposta acustica, creando potenziali zone cieche che possono ridurre l'affidabilità del quadro di consapevolezza tattica. Anche l'accoppiamento meccanico tra fibra e fondale marino rappresenta una variabile critica: un cavo sospeso, adagiato su superfici incoerenti o sepolto in sedimenti morbidi perde parte della sua sensibilità, riducendo la qualità del segnale rilevato. In parallelo, la mole di dati generata da un singolo tratto di DAS raggiunge ordini di grandezza dell'ordine dei terabyte all'ora, imponendo sfide di discriminazione, filtraggio e classificazione difficilmente affrontabili con algoritmi tradizionali. A tutto ciò si aggiunge l'effetto delle pressioni abissali, che inducono micro-deformazioni nella fibra alterandone le proprietà ottiche e richiedendo modelli di calibrazione dinamica.

Per affrontare queste difficoltà, l'evoluzione del DAS si sta orientando verso soluzioni tecnologiche avanzate su più livelli. La prima direttrice riguarda gli interrogatori ottici: le moderne architetture Phase-OTDR, anziché limitarsi a misurare l'intensità della luce riflessa, analizzano la fase dell'onda luminosa, ottenendo una sensibilità estremamente superiore alle variazioni minime di strain e pressione. Questa capacità permette di rilevare frequenze molto basse, cruciali per l'individuazione di grandi piattaforme subacquee, e di migliorare significativamente l'accuratezza della localizzazione. In parallelo, si stanno diffondendo fibre ottiche ingegnerizzate, dotate di centri di riflessione potenziati o basate su strutture a cristalli fotonici, che incrementano la quantità di luce restituita verso l'interrogatore senza aumentare l'attenuazione complessiva del cavo. Queste soluzioni consentono di estendere la portata operativa oltre la soglia dei cento chilometri senza la necessità di ripetitori o amplificatori in linea.

La seconda direttrice riguarda l'elaborazione intelligente dei dati. L'enorme flusso informativo prodotto dal DAS ha reso indispensabile l'impiego di tecniche di deep learning specializzate, come le reti neurali convoluzionali che trasformano sequenze temporali acustiche in spettrogrammi e identificano automaticamente la firma caratteristica di un UUV, distinguendola da quella di fenomeni naturali o biologici. A questa capacità di classificazione si affiancano algoritmi di spatial filtering e beamforming virtuale, che combinano informazioni provenienti da centinaia di metri di fibra per stimare la direzione di provenienza dei segnali acustici e ricostruire attività subacquee anche in scenari complessi. L'elaborazione in tempo reale è resa possibile dall'impiego di FPGA e GPU dedicate, che consentono di gestire grandi quantità di dati mantenendo latenze compatibili con esigenze operative.

Un ulteriore elemento strategico è rappresentato dall'integrazione con infrastrutture già esistenti. L'utilizzo delle cosiddette dark fiber, tratte inutilizzate all'interno dei cavi di telecomunicazione transoceanici, permite di trasformare dorsali già posate in reti di sorveglianza su larga scala a costi contenuti. Questa opzione consente di coprire vaste regioni oceaniche senza necessità di nuove installazioni, abilitando una capacità di monitoraggio continua lungo rotte marittime di interesse strategico.

Le applicazioni operative del DAS sono molteplici. Un cavo posato in prossimità di un porto o di una base navale può fungere da tripwire virtuale, rilevando l'avvicinamento di qualsiasi mezzo subacqueo non autorizzato. Lungo i gasdotti o i cavi sottomarini, la tecnologia consente di individuare tentativi di sabotaggio o la presenza di droni manipolatori, aumentando la resilienza delle infrastrutture critiche. In scenari più avanzati, un UUV può impiegare un cavo DAS come sorgente passiva di riferimento, utilizzando le vibrazioni rilevate dalla fibra per ottenere indizi di navigazione o informazioni operative senza emettere segnali attivi e preservando quindi la propria furtività.

Il quadro tecnologico che emerge integra sorgenti laser a bassissimo rumore di fase, amplificatori Raman distribuiti per estendere la distanza operativa e unità di elaborazione dedicate alla decodifica in tempo reale dei segnali acustici.

Questa combinazione permette di trasformare un'infrastruttura apparentemente semplice come un cavo ottico in una rete sensoriale sofisticata, resiliente e adatta a sostenere le esigenze di sicurezza, sorveglianza e operazioni autonome nel dominio subacqueo.

6. Simulazione

La simulazione per sistemi subacquei autonomi si è affermata come una componente essenziale dell'ingegneria underwater moderna, poiché permette di riprodurre in ambiente virtuale fenomeni fisici e operativi impossibili da testare con frequenza o in sicurezza in mare reale. La complessità della fisica dei fluidi, caratterizzata da turbolenze, scie variabili e comportamenti non lineari, rende estremamente difficile prevedere con precisione la risposta di uno scafo immerso, richiedendo l'impiego di modelli CFD capaci di catturare interazioni sottili tra dinamica del mezzo e condizioni ambientali. A questa difficoltà si somma la modellazione dei sensori acustici, poiché il suono, a differenza della luce, segue percorsi caotici e fortemente dipendenti da salinità, temperatura e struttura del fondale. Riprodurre fedelmente un "sonar simulato" implica dunque la costruzione di modelli ambientali complessi e dinamici.

Un ulteriore livello di complessità riguarda il mantenimento della coerenza tra il veicolo reale e il suo gemello digitale. Le comunicazioni subacquee, basate prevalentemente su modem acustici a bassa larghezza di banda, ostacolano un aggiornamento costante e in tempo reale del Digital Twin, che inevitabilmente opera con margini di ritardo rispetto allo stato effettivo del veicolo. A ciò si aggiunge il problema della scarsità di dati reali per l'addestramento dei modelli di intelligenza artificiale, in particolare per il riconoscimento automatico di target: raccogliere volumi significativi di immagini sonar autentiche richiede tempi e costi proibitivi, generando una carenza strutturale di ground truth su cui costruire modelli robusti. Per questo motivo, l'ambiente sintetico non rappresenta solo uno strumento di sviluppo e validazione, ma una componente abilitante per training by design, analisi comparativa e assessment continuo delle soluzioni, nonché per la verification, validation and assurance dei comportamenti autonomi, e, in prospettiva, per alimentare predittori e ottimizzatori a supporto della correzione dinamica della missione.

Per affrontare queste sfide sono state sviluppate soluzioni tecnologiche avanzate. I simulatori ad alta fedeltà consentono di eseguire codice di missione in ambienti virtuali fotorealistici, dove motori fisici avanzati riproducono dinamiche idrodinamiche, risposte dei sensori e interazioni complesse con l'ambiente circostante. L'impiego di piattaforme Software-in-the-Loop permette di testare algoritmi di controllo e navigazione in scenari digitali accurati, mentre le configurazioni Hardware-in-the-Loop consentono al computer di bordo di ricevere segnali simulati relativi a GPS, sistemi inerziali e sonar, replicando integralmente le condizioni operative senza necessità di immergere il veicolo reale.

La simulazione assume un ruolo centrale anche nella manutenzione predittiva. Attraverso la sincronizzazione con sensori posti sullo scafo reale, il gemello digitale è in grado di monitorare sollecitazioni, micro-deformazioni e variazioni strutturali che potrebbero preludere a guasti, suggerendo il recupero del mezzo prima che si verifichino cedimenti. Lo stesso modello offre inoltre la possibilità di pre-validare manovre rischiose, simulando l'interazione con correnti, ostacoli e morfologie ambientali prima dell'esecuzione reale.

Un contributo cruciale proviene dalla generazione di dati sintetici mediante tecniche di intelligenza artificiale generativa. L'uso di modelli tridimensionali e reti antagoniste consente di creare grandi quantità di immagini sonar plausibili, arricchendo i dataset necessari all'addestramento dei sistemi di riconoscimento automatico. Poiché tali dati sono auto-etichettati, è possibile costruire pipeline di training altamente scalabili, riducendo drasticamente i tempi necessari per ottenere modelli affidabili. Le tecniche di realtà virtuale e aumentata ampliano ulteriormente il potenziale della simulazione, permettendo agli operatori

di addestrarsi in ambienti immersivi che replicano fedelmente la fisica del braccio robotico, la torbidità dell'acqua e l'interazione con infrastrutture complesse, evitando rischi e costi delle prove reali.

La simulazione non si limita però alla formazione o allo studio dell'interazione veicolo-ambiente. Essa permette di valutare migliaia di varianti progettuali prima di costruire un prototipo, ottimizzando geometrie idrodinamiche, distribuendo sensori per ridurre interferenze e testando virtualmente la resistenza strutturale a pressioni estreme o collisioni. Nei contesti di sviluppo algoritmico, la simulazione abilita tecniche avanzate come il reinforcement learning, in cui un veicolo virtuale apprende strategie di navigazione, gestione dei guasti e pianificazione ottimale attraverso milioni di iterazioni accelerate che nel mondo reale richiederebbero anni di test.

Una sfida rilevante rimane tuttavia il divario tra simulazione e realtà operativa. I dati sintetici tendono a essere più puliti e meno imprevedibili di quelli raccolti in mare aperto, un limite che può compromettere la trasferibilità degli algoritmi. Per ridurre questo "sim-to-real gap" si impiegano tecniche di randomizzazione del dominio, introducendo nelle simulazioni perturbazioni casuali come rumore elettrico, distorsioni acustiche e torbidità variabile, al fine di rendere i modelli più resilienti alle condizioni imprevedibili del mondo reale.

La convergenza di queste capacità fa della simulazione un'infrastruttura strategica per lo sviluppo e l'impiego degli UUV. Essa riduce drasticamente il rischio tecnico, consente di testare condizioni estreme non riproducibili in sicurezza, accelera il time-to-market di nuove piattaforme e abilita forme avanzate di pianificazione operativa. Che si tratti di missioni militari complesse, ispezioni critiche nell'ambito energetico, esplorazioni scientifiche o validazione software, la simulazione diventa così un moltiplicatore di efficienza, sicurezza e innovazione, trasformandosi nella spina dorsale del paradigma model-based che guida l'evoluzione attuale del dominio underwater.

Le eccellenze Italiane: alcuni esempi

L'Italia dispone di un ecosistema industriale, scientifico e istituzionale di assoluto rilievo nella dimensione subacquea, un ambito sempre più strategico per la sicurezza nazionale, la protezione delle infrastrutture critiche, la competitività industriale, la ricerca scientifica e la valorizzazione sostenibile dell'ambiente marino.

In questo scenario, il Polo Nazionale della dimensione Subacquea, guidato dalla Marina Militare Italiana, rappresenta un elemento centrale di raccordo tra enti di ricerca, università, istituzioni, industria e utilizzatori finali. Il PNS contribuisce a strutturare una visione nazionale condivisa, favorendo il coordinamento tra domanda operativa, sviluppo tecnologico, ricerca applicata e prospettive industriali.

Sul piano industriale, Fincantieri si posiziona oggi come principale integratore nazionale di sistemi complessi per la dimensione subacquea, estendendo progressivamente la propria leadership dalla costruzione navale allo sviluppo di mezzi subacquei complessi, piattaforme per il monitoraggio dei fondali, sistemi autonomi, sensoristica, comunicazioni underwater e servizi marini avanzati. Tale posizionamento è stato rafforzato da una strategia di crescita inorganica che, attraverso acquisizioni mirate, ha ampliato il perimetro tecnologico e operativo del Gruppo, accelerando la costruzione di una piattaforma industriale integrata per il dominio underwater.

In particolare, l'acquisizione di Remazel ha rafforzato le competenze nei sistemi e nelle attrezzature per operazioni offshore e subsea; l'integrazione di WASS ha consolidato il presidio nei sistemi subacquei per la difesa, nella sensoristica acustica e nelle tecnologie dual-use; le operazioni su Next Geosolutions, WSense, Graal Tech e Defcomm hanno ulteriormente ampliato il portafoglio del Gruppo, coprendo rispettivamente marine survey e geoscienze, comunicazioni subacquee e Internet of Underwater Things, veicoli autonomi subacquei, droni di superficie e capacità operative specialistiche. Questa sequenza di acquisizioni configura una chiara volontà di crescita inorganica, volta non solo ad accrescere le competenze interne, ma anche a ridurre la frammentazione della filiera e a consolidare una leadership nazionale e internazionale nel settore underwater.

Il Gruppo, anche attraverso le proprie società controllate e partecipate, dispone quindi di competenze che spaziano dalla progettazione e costruzione navale all'integrazione di sistemi, dalla simulazione al software, dalla cybersecurity alla sensoristica, fino alle piattaforme unmanned, ai sistemi di comando e controllo, alle comunicazioni subacquee e ai servizi di monitoraggio e intervento sui fondali. La strategia di sviluppo si basa sulla capacità di integrare competenze interne, partnership industriali, accordi strategici e contributi specialistici esterni, ma assume oggi una connotazione più strutturale: Fincantieri tende infatti a configurarsi come orchestratore industriale dell'ecosistema underwater, in grado di connettere cantieristica avanzata, tecnologie

autonome, sensoristica, comunicazioni, servizi operativi e capacità dual-use.

L'impatto sulla filiera nazionale è rilevante. Le acquisizioni recenti non modificano soltanto il perimetro industriale del Gruppo, ma contribuiscono a ridisegnare l'assetto complessivo della catena del valore underwater italiana. La presenza di un soggetto industriale capace di integrare piattaforme navali, sistemi subacquei, tecnologie autonome, survey marine, comunicazioni underwater e servizi operativi favorisce una maggiore continuità tra ricerca, sviluppo tecnologico, industrializzazione e impiego operativo. Ciò mira a ridurre le discontinuità tra fornitori specializzati, aumentare la capacità di coordinamento della filiera, accelerare la maturazione di soluzioni dual-use e rafforzare il posizionamento del sistema Paese nei mercati civili, energetici, scientifici e della difesa.

L'eccellenza tecnologica nazionale si esprime attraverso una fitta rete di filiere tecnologiche e applicative, oggi sempre più interconnesse. Nel campo dei sistemi di gestione, orchestrazione e comando e controllo, assumono rilievo le capacità connesse allo sviluppo di architetture tipo UMS – Underwater Management System, mission management, data fusion e integrazione multi-piattaforma. In tale ambito, IDS – Ingegneria Dei Sistemi – rappresenta un riferimento industriale primario, con il contributo di altre realtà del Gruppo Fincantieri e dell'ecosistema nazionale. L'integrazione di queste capacità con sensori, piattaforme autonome, comunicazioni underwater e sistemi di missione costituisce uno degli elementi chiave per trasformare singole tecnologie specialistiche in architetture operative complete.

Nel settore delle piattaforme autonome e robotiche, l'Italia dispone di competenze significative su USV, AUV/UUV e sistemi residenti. Graal Tech rappresenta una delle realtà nazionali più rilevanti per robotica marina, autonomia e piattaforme subacquee compatte, e la sua integrazione nel perimetro Fincantieri rafforza il collegamento tra ricerca robotica, sviluppo di veicoli autonomi e applicazioni operative. Il centro interuniversitario ISME, che include tra gli altri anche Università di Pisa e Università di Firenze, costituisce un riferimento scientifico importante per controllo, navigazione, robotica cooperativa e sistemi integrati per l'ambiente marino.

Per quanto riguarda USV, LARS, docking station e sistemi di supporto alle operazioni autonome, la filiera nazionale include integratori, cantieri e aziende specializzate in movimentazione, automazione, lancio e recupero, ricarica, comunicazione e gestione dati. In particolare, il Paese dispone di competenze utili nello sviluppo e nell'adattamento di scafi e piattaforme multiruolo, configurabili per diversi profili operativi in funzione dei payload installati, dei sistemi di missione, delle esigenze di autonomia, delle modalità di deployment e delle architetture di controllo. In tale ambito, soggetti come IDS, Graal Tech, Remazel Engineering e WSense possono essere valorizzati, rispettivamente, per l'integrazione di sistema e missione, le piattaforme robotiche, i sistemi di movimentazione e LARS, e le comunicazioni o reti subacquee. La loro progressiva integrazione all'interno o in prossimità del perimetro Fincantieri consente di ipotizzare una maggiore capacità di coordinamento industriale, pur mantenendo da verificare caso per caso il ruolo dei singoli partner e il livello di maturità delle collaborazioni.

La filiera delle comunicazioni subacquee rappresenta un'altra area di eccellenza. WSense si distingue come realtà italiana ad alta specializzazione nell'Internet of Underwater Things e nelle reti wireless subacquee, con applicazioni in monitoraggio, sensor network, sistemi distribuiti, acquisizione dati e supporto a operazioni autonome. L'ingresso di tali competenze nel perimetro della nuova piattaforma underwater di Fincantieri

rafforza la possibilità di integrare comunicazioni, sensoristica e sistemi autonomi in architetture operative distribuite, elemento essenziale per il monitoraggio persistente e la protezione delle infrastrutture critiche sottomarine.

Nel dominio della sensoristica subacquea, acustica e sorveglianza, l'Italia dispone di competenze industriali e scientifiche rilevanti. LSI può essere valorizzata per le capacità in ambito sonar, elettroacustica, processing e sistemi sensoriali integrabili in architetture operative. WASS rappresenta un riferimento nazionale di rilievo nei sistemi subacquei per la difesa e, a seguito della sua integrazione nel Gruppo Fincantieri, contribuisce a rafforzare il presidio industriale nazionale sulle tecnologie dual-use, sui sistemi acustici, sulla sensoristica e sulle soluzioni per la sorveglianza e l'intervento nel dominio subacqueo.

Per l'underwater imaging, le eccellenze nazionali si collocano tra industria, ricerca e applicazioni operative. IDS può svolgere un ruolo centrale nell'integrazione delle capacità di imaging, data processing, change detection, ATR, riconoscimento del fondale, generazione di dati sintetici e supporto alle funzioni autonome dei veicoli. Il contributo di università, centri di ricerca e partner specialistici può rafforzare lo sviluppo di algoritmi, dataset, modelli di validazione e capacità di interpretazione automatica dell'ambiente subacqueo. L'integrazione con capacità di survey e geoscienze, rafforzate anche attraverso Next Geosolutions, amplia ulteriormente il potenziale applicativo lungo l'intero ciclo di vita delle infrastrutture sottomarine.

Accanto alle filiere tecnologiche, assume rilievo la filiera legata alle infrastrutture critiche sottomarine, che comprende soggetti con ruoli diversi lungo il ciclo di vita dell'asset: chi gestisce l'infrastruttura o il servizio, chi ne cura la realizzazione e il deployment, e chi sviluppa capacità per il monitoraggio, la sorveglianza e la protezione. In questo quadro, operatori come Sparkle, Terna, Snam ed Eni rappresentano interlocutori rilevanti in quanto gestori o utilizzatori di infrastrutture e servizi critici nei domini delle telecomunicazioni, dell'energia elettrica e dell'offshore. Attori come Prysmian e Saipem sono invece riconducibili soprattutto alle competenze industriali di produzione, posa, installazione, intervento e supporto operativo subsea. La nuova traiettoria di Fincantieri introduce un ulteriore elemento di integrazione industriale, collegando piattaforme navali, sistemi autonomi, sensori, comunicazioni underwater, survey marine e capacità operative a supporto della protezione e della gestione degli asset sottomarini.

La protezione e il monitoraggio di tali infrastrutture richiedono infatti il contributo coordinato di tecnologie e sistemi dedicati, quali piattaforme autonome, sensoristica, comunicazioni subacquee, imaging, data fusion, sistemi di missione e capacità di comando e controllo. In tale prospettiva, la crescita inorganica di Fincantieri può agire da fattore di consolidamento della filiera, favorendo l'emergere di soluzioni end-to-end per sorveglianza, manutenzione, risposta a eventi critici e gestione operativa delle infrastrutture underwater.

La componente difesa, operazioni speciali e sistemi subacquei specializzati include realtà ad alto valore come CABI Cattaneo e Drass, che presidiano nicchie tecnologiche rilevanti in mezzi speciali, sistemi iperbarici, soluzioni per operatori subacquei e applicazioni dual-use o militari. Queste competenze completano il quadro nazionale, rafforzando la profondità tecnologica della filiera e la sua capacità di coprire segmenti altamente specialistici, spesso caratterizzati da forte rilevanza strategica.

Un ulteriore asse riguarda ricerca scientifica, regolazione e governance. Oltre a ISME e alle università coinvolte nelle iniziative nazionali sulla

dimensione subacquea, possono essere valorizzati enti come CNR-ISMAR, OGS, ISPRA e altri soggetti competenti su biodiversità, geodiversità, dati ambientali, monitoraggio dei fondali e pianificazione dello spazio marittimo. In tale quadro, la Soprintendenza Nazionale per il Patrimonio Culturale Subacqueo integra questa visione tecnica con la tutela del patrimonio archeologico, contribuendo a garantire che lo sviluppo industriale proceda in armonia con la conservazione storica dei mari italiani.

Nel complesso, le recenti acquisizioni di Fincantieri rendono più evidente una possibile evoluzione della filiera underwater italiana da ecosistema distribuito a piattaforma industriale maggiormente coordinata. La sfida non consiste nell'assorbire o sostituire la pluralità degli attori esistenti, ma nel valorizzarne le specializzazioni all'interno di architetture industriali e operative più integrate. Se adeguatamente supportata da governance pubblica, investimenti, standard comuni e cooperazione tra industria, ricerca e utilizzatori finali, questa traiettoria può rafforzare l'autonomia strategica nazionale, consolidare la leadership italiana nel Mediterraneo e posizionare il Paese come uno dei riferimenti europei nel dominio underwater.

Considerazioni strategiche e linee di policy

Le analisi sviluppate nel rapporto evidenziano come l'ambiente underwater stia assumendo una rilevanza crescente non soltanto sul piano infrastrutturale e tecnologico, ma anche sotto il profilo geopolitico, industriale ed economico.

Le infrastrutture sottomarine costituiscono oggi una componente essenziale del funzionamento delle economie contemporanee, poiché da esse dipendono la continuità dei flussi energetici e digitali, l'operatività delle catene logistiche globali e la resilienza dei sistemi produttivi avanzati.

Nel Mediterraneo, tale trasformazione assume una particolare centralità strategica. Il bacino rappresenta infatti uno dei principali spazi di connessione tra Europa, Africa e Asia, concentrando infrastrutture critiche, traffici commerciali, reti energetiche e sistemi di telecomunicazione sempre più interdipendenti. In questo contesto, il dominio underwater emerge come uno spazio nel quale convergono sicurezza economica, capacità industriali, innovazione tecnologica e competizione geopolitica.

Le considerazioni che seguono intendono proporre una sintesi delle principali evidenze emerse dal rapporto, individuando alcune priorità strategiche e possibili direttrici di policy per il rafforzamento dell'ecosistema underwater europeo e mediterraneo.

L’underwater come infrastruttura critica sistemica

Il rapporto evidenzia come il dominio underwater non possa più essere considerato un insieme di infrastrutture specialistiche separate tra loro, ma debba essere interpretato come una componente sistemica delle economie contemporanee.

A tale sistema si aggiunge il ruolo strategico delle principali risorse marine, tra cui gli idrocarburi offshore che continuano a rappresentare una quota rilevante della produzione energetica globale, i depositi di minerali e terre rare presenti nei fondali fondamentali per le filiere tecnologiche e della transizione energetica, nonché le risorse biologiche, a partire dalla pesca e dall’acquacoltura, essenziali per la sicurezza alimentare.

Cavi sottomarini, reti energetiche offshore, infrastrutture portuali e sistemi subsea costituiscono quindi una rete integrata dalla quale dipendono comunicazioni, approvvigionamenti energetici, scambi commerciali e servizi digitali.

La crescente interdipendenza tra dimensione marittima, infrastrutture digitali ed energia rende il dominio underwater una componente essenziale della sicurezza economica europea. La vulnerabilità di tali reti, sia rispetto a rischi geopolitici sia rispetto a incidenti operativi o interferenze ibride, conferma la necessità di rafforzare capacità di monitoraggio, protezione e resilienza delle infrastrutture critiche sottomarine.

Il Mediterraneo come spazio strategico europeo

Il Mediterraneo si conferma uno dei principali spazi strategici dell’interconnessione euro-mediterranea e globale. Il bacino concentra una quota significativa delle reti sottomarine per il trasporto di dati ed energia e rappresenta uno snodo fondamentale per i traffici commerciali e logistici che collegano Europa, Africa e Asia.

Allo stesso tempo, la crescente centralità del Mediterraneo accresce il livello di esposizione a dinamiche competitive e vulnerabilità geopolitiche. Infrastrutture critiche, landing point, reti energetiche e sistemi portuali assumono così un ruolo sempre più rilevante non soltanto sul piano economico, ma anche sotto il profilo strategico e della sicurezza.

In questo scenario, il Mediterraneo tende a configurarsi come uno spazio nel quale convergono sicurezza economica, resilienza infrastrutturale e competizione tecnologica, richiedendo una crescente capacità di coordinamento tra attori pubblici, industriali e istituzionali.

Filiera industriale, competitività e autonomia strategica

Uno degli elementi emersi con maggiore evidenza nel corso del rapporto riguarda la crescente rilevanza della dimensione industriale dell'underwater. Le analisi sviluppate mostrano infatti come il settore non coincida con un comparto specialistico isolato, ma costituisca un ecosistema produttivo articolato, capace di attivare filiere manifatturiere avanzate, competenze tecnologiche e reti industriali integrate.

Cantieristica, sistemi subsea, componentistica, sensoristica, automazione, robotica e infrastrutture offshore rappresentano segmenti sempre più strategici per la competitività industriale e tecnologica europea. In tale prospettiva, il rafforzamento delle capacità manifatturiere e delle supply chain connesse all'underwater assume una rilevanza crescente anche sotto il profilo della sicurezza economica e dell'autonomia strategica.

Il rapporto evidenzia inoltre come il posizionamento competitivo dell'industria italiana ed europea nel settore underwater possa rappresentare un importante fattore di resilienza, contribuendo a ridurre dipendenze tecnologiche esterne e a consolidare capacità operative essenziali per la gestione delle infrastrutture critiche.

Resilienza infrastrutturale e capacità operative

La sicurezza delle infrastrutture underwater dipende sempre più dalla disponibilità di capacità operative avanzate e dalla possibilità di garantire continuità nelle attività di monitoraggio, manutenzione e intervento. Navi specializzate, sistemi autonomi, piattaforme subsea, tecnologie di rilevamento e capacità di intervento rapido costituiscono oggi componenti essenziali della resilienza infrastrutturale.

La crescente complessità delle reti underwater rende infatti necessario sviluppare un approccio integrato che combini capacità industriali, tecnologie avanzate, coordinamento operativo oltre che strutture governative di policy. In questo quadro, la disponibilità di competenze specialistiche e filiere tecnologiche avanzate rappresenta un elemento strategico non soltanto per la protezione delle infrastrutture esistenti, ma anche per lo sviluppo delle future reti energetiche e digitali.

Cooperazione pubblico-privata e coordinamento europeo

La natura distribuita e interdipendente delle infrastrutture underwater rende sempre più necessario rafforzare forme di cooperazione tra operatori industriali, istituzioni pubbliche e organismi europei. La frammentazione proprietaria delle reti, l'aumento delle vulnerabilità e la crescente complessità tecnologica richiedono infatti modelli più avanzati di governance e coordinamento.

In tale prospettiva, il rapporto evidenzia l'importanza di sviluppare strumenti condivisi di monitoraggio, prevenzione e gestione del rischio, rafforzando al tempo stesso la cooperazione tra settore pubblico e privato nella protezione delle infrastrutture critiche sottomarine.

Allo stesso tempo, emerge la necessità di promuovere una maggiore integrazione europea nelle politiche relative all'underwater, favorendo investimenti coordinati in infrastrutture, innovazione tecnologica e capacità industriali strategiche.

Priorità strategiche per il rafforzamento dell'ecosistema underwater europeo e mediterraneo



Rafforzare le capacità di monitoraggio, manutenzione e protezione delle infrastrutture sottomarine.



Sostenere lo sviluppo di filiere industriali e manifatturiere connesse alle tecnologie underwater.



Promuovere investimenti in ricerca, innovazione e sistemi avanzati per il settore subsea.



Valorizzare il ruolo dei porti e delle infrastrutture logistiche come hub operativi dell'ecosistema underwater.



Favorire una maggiore integrazione tra sicurezza economica, politica industriale e resilienza infrastrutturale.



Sviluppare forme più avanzate di coordinamento europeo nella gestione delle infrastrutture critiche sottomarine.



Rafforzare la cooperazione pubblico-privata nella protezione delle reti energetiche e digitali underwater.

Conclusioni

Il dominio underwater rappresenta oggi una delle dimensioni meno visibili ma più strategiche dell'economia globale contemporanea. La crescente dipendenza da infrastrutture sottomarine rende infatti sempre più stretta la relazione tra sicurezza economica, competitività industriale, capacità tecnologiche e stabilità geopolitica.

Nel Mediterraneo, tali dinamiche assumono una rilevanza particolare, poiché il bacino concentra infrastrutture, traffici e connessioni essenziali per l'Europa.

In questo contesto, il rafforzamento dell'ecosistema underwater non riguarda soltanto la protezione di asset critici, ma la capacità stessa dell'Europa di mantenere continuità operativa, resilienza industriale e autonomia strategica in uno scenario internazionale sempre più interconnesso e competitivo.

Il rapporto nel quadro “Geopolitica e tecnologia”

Le analisi sviluppate nel presente rapporto si inseriscono pienamente nel quadro tematico “Geopolitica e Tecnologia” promosso dalla Fondazione Compagnia di San Paolo (Advisor Scientifico: Fondazione CSF), evidenziando come le trasformazioni tecnologiche stiano ridefinendo in maniera sempre più profonda gli equilibri economici, industriali e strategici contemporanei.

Il dominio underwater rappresenta oggi uno degli spazi più significativi di questa convergenza. Infrastrutture sottomarine per il trasporto di dati ed energia, reti offshore, sistemi subsea, capacità portuali e tecnologie avanzate costituiscono infatti elementi essenziali del funzionamento delle economie globali e della continuità delle connessioni euro-mediterranee.

La crescente dipendenza da tali infrastrutture rende il mare e i fondali non soltanto uno spazio tecnico-operativo, ma una dimensione strategica nella quale si intrecciano sicurezza economica, competizione geopolitica, innovazione tecnologica e capacità industriali.

In questo quadro, il rapporto ha inteso sviluppare una lettura integrata dell’ecosistema underwater, combinando prospettive geopolitiche, economiche, marittime, industriali e tecnologiche.

La ricerca evidenzia come la protezione e la resilienza delle infrastrutture critiche sottomarine non dipendano esclusivamente dalla sicurezza fisica delle reti, ma anche dalla disponibilità di capacità industriali, filiere manifatturiere avanzate, tecnologie autonome e competenze operative specializzate.

Particolare rilievo assume, in tal senso, il Mediterraneo, che emerge come uno dei principali spazi strategici europei per la concentrazione di infrastrutture digitali, reti energetiche, traffici logistici e sistemi portuali.

Il bacino mediterraneo si configura così come un laboratorio geopolitico e geo-economico nel quale le dinamiche della competizione internazionale tendono a intrecciarsi con i temi della resilienza infrastrutturale, della sicurezza economica e dell’autonomia strategica europea.

Il rapporto mette inoltre in evidenza come l’underwater non costituisca un comparto isolato o strettamente specialistico, ma un ecosistema produttivo articolato, capace di attivare filiere industriali avanzate, reti manifatturiere integrate e capacità tecnologiche ad alta intensità di innovazione.

In tale prospettiva, la competitività industriale e tecnologica assume una rilevanza crescente anche sotto il profilo geopolitico, contribuendo a rafforzare la resilienza economica e la capacità europea di presidiare infrastrutture considerate sempre più strategiche.

Le riflessioni sviluppate nel rapporto intendono pertanto contribuire alla comprensione di uno spazio ancora relativamente poco esplorato nel dibattito pubblico europeo, ma destinato ad assumere un ruolo sempre più centrale nelle future dinamiche della sicurezza economica, della politica industriale, della connettività globale e della competizione tecnologica internazionale.

Special Focus

Le prospettive dell'ecosistema underwater: evidenze dal confronto con gli stakeholder

Premessa metodologica

Le analisi sviluppate nel presente rapporto si fondano prevalentemente sull'elaborazione di dati economici, documentazione scientifica, fonti istituzionali e letteratura specialistica. Accanto a tale approccio, si è ritenuto opportuno integrare l'analisi con una componente qualitativa, finalizzata a raccogliere il punto di vista di soggetti direttamente impegnati nello sviluppo della dimensione underwater italiana.

L'obiettivo è stato quello di acquisire elementi interpretativi utili a comprendere come i principali attori dell'ecosistema nazionale percepiscano l'evoluzione del settore, le prospettive di crescita, le principali criticità e le priorità strategiche per il prossimo futuro.

La scelta degli interlocutori è stata volutamente orientata a rappresentare alcune delle diverse anime che caratterizzano oggi il comparto underwater italiano. Sono stati pertanto coinvolti il **Polo Nazionale della Dimensione Subacquea**, quale organismo di coordinamento strategico dell'ecosistema nazionale; l'**Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale** e il **Centro Interuniversitario di Ricerca sui Sistemi Integrati per l'Ambiente Marino**, espressione della ricerca scientifica e dell'innovazione tecnologica; e due imprese fortemente specializzate, **Leonardo Sistemi Integrati** (LSI) e **NextGeo**, rappresentative rispettivamente delle tecnologie acustiche e sonar e dei servizi offshore ad elevato contenuto tecnologico.

Pur operando in ambiti differenti, tutti gli stakeholder condividono una visione sorprendentemente convergente sull'evoluzione del settore. Le evidenze raccolte confermano infatti molte delle principali conclusioni del rapporto e consentono di delineare alcune direttrici comuni che attraversano l'intero ecosistema underwater italiano.

L'underwater come nuovo dominio strategico

Il primo elemento che emerge con chiarezza riguarda il profondo cambiamento di prospettiva con cui viene oggi interpretata la dimensione subacquea. Se fino a pochi anni fa essa era considerata prevalentemente un ambito specialistico, oggi viene riconosciuta da tutti gli stakeholder come uno dei principali spazi strategici del XXI secolo. Le testimonianze convergono nell'evidenziare come il mare e i fondali rappresentino un ambiente nel quale si concentrano interessi economici, energetici, industriali e geopolitici destinati a crescere ulteriormente nei prossimi anni. L'espansione delle infrastrutture digitali, lo sviluppo delle reti energetiche offshore, l'aumento della

domanda di dati e la crescente attenzione verso la sicurezza delle infrastrutture critiche stanno trasformando l'underwater in una componente strutturale della sicurezza economica nazionale ed europea.

Particolarmente significativo è il fatto che tale lettura sia condivisa tanto dal mondo della ricerca quanto dagli operatori industriali, a conferma di una crescente maturità dell'intero ecosistema nazionale.

Infrastrutture critiche e resilienza dei sistemi economici

Un secondo tema ricorrente riguarda il ruolo delle infrastrutture critiche sottomarine. Tutti gli interlocutori sottolineano come cavi in fibra ottica, interconnector elettrici, pipeline, piattaforme offshore e sistemi portuali costituiscano oggi asset indispensabili per il funzionamento delle economie contemporanee.

La crescente dipendenza da tali infrastrutture rende necessario sviluppare capacità sempre più avanzate di monitoraggio, sorveglianza, manutenzione e intervento. Le recenti tensioni geopolitiche e gli episodi che hanno interessato infrastrutture sottomarine in diversi contesti internazionali hanno ulteriormente rafforzato la consapevolezza che la resilienza delle reti underwater rappresenti una componente essenziale della sicurezza economica europea.

Le testimonianze evidenziano inoltre come la protezione delle infrastrutture non possa essere affidata esclusivamente a strumenti di natura difensiva, ma richieda una stretta integrazione tra ricerca scientifica, innovazione tecnologica, capacità industriali e cooperazione istituzionale.

L'innovazione tecnologica come fattore abilitante

Un terzo elemento di forte convergenza riguarda il ruolo dell'innovazione tecnologica. Le interviste mostrano come il futuro dell'underwater sarà caratterizzato da una crescente diffusione di piattaforme autonome, sistemi robotici, sensori intelligenti, intelligenza artificiale, reti di comunicazione subacquee e capacità avanzate di elaborazione dei dati.

L'automazione delle operazioni, la cooperazione tra sistemi autonomi, l'interoperabilità delle piattaforme e l'integrazione tra sensoristica e algoritmi di analisi rappresentano le principali direttrici tecnologiche individuate dagli stakeholder.

Accanto alla dimensione tecnologica emerge però anche un'altra evidenza significativa: la necessità di trasformare l'innovazione in capacità operative concrete, attraverso attività sperimentali, validazione in mare, sviluppo di standard comuni e collaborazione tra industria e ricerca.

Una filiera industriale sempre più integrata

Uno degli aspetti più interessanti emersi dal confronto riguarda la progressiva evoluzione dell'underwater da settore specialistico a vera e propria filiera industriale.

Le testimonianze confermano infatti come il comparto coinvolga una pluralità di soggetti operanti in ambiti diversi ma fortemente interconnessi: cantieristica navale, robotica, elettronica,

sensoristica, acustica subacquea, geoscienze marine, servizi offshore, telecomunicazioni, energia e sviluppo software.

In questo quadro, la competitività del sistema non dipende esclusivamente dall'eccellenza delle singole imprese o dei singoli centri di ricerca, ma soprattutto dalla capacità di costruire un ecosistema integrato nel quale ricerca, industria, pubblica amministrazione e grandi operatori cooperino stabilmente.

È particolarmente interessante osservare come questa visione confermi pienamente le analisi sviluppate nel Capitolo 3 del rapporto, dedicate alla filiera manifatturiera dell'underwater. Le evidenze qualitative raccolte rafforzano infatti l'idea che il settore rappresenti un ecosistema produttivo trasversale, caratterizzato da elevata intensità tecnologica e da un forte potenziale di crescita.

Competenze, ricerca e governance

L'ultimo tema riguarda il capitale umano e la governance dell'ecosistema. Gli stakeholder concordano nell'indicare la formazione di nuove competenze, il trasferimento tecnologico e il rafforzamento della ricerca applicata come condizioni indispensabili per sostenere la crescita del comparto. Allo stesso tempo, viene riconosciuto il ruolo sempre più importante svolto da modelli di coordinamento capaci di mettere in relazione amministrazioni pubbliche, università, centri di ricerca e sistema industriale.

In questa prospettiva, la creazione di reti collaborative, l'attivazione di programmi di ricerca congiunti e il consolidamento di un ecosistema nazionale dell'underwater vengono considerati elementi decisivi per rafforzare la competitività italiana nel contesto europeo e internazionale.

Considerazioni conclusive

L'analisi qualitativa condotta attraverso il confronto con gli stakeholder conferma in larga misura le principali evidenze emerse nel corso del rapporto. Pur provenendo da realtà differenti per missione, competenze e posizionamento nella filiera, gli interlocutori condividono una visione comune del futuro dell'underwater, riconoscendone la crescente rilevanza sotto il profilo economico, industriale, scientifico e strategico.

Nel loro insieme, le testimonianze restituiscono l'immagine di un ecosistema in rapida evoluzione, nel quale sicurezza economica, infrastrutture critiche, capacità industriali e innovazione tecnologica risultano sempre più strettamente interconnesse.

Questa convergenza di prospettive rafforza ulteriormente una delle principali conclusioni del rapporto: lo sviluppo della dimensione underwater richiede un approccio sistemico, fondato sull'integrazione tra politiche industriali, ricerca scientifica, innovazione tecnologica e governance multilivello.

I protagonisti del Focus: ruoli e principali spunti di riflessione emersi

Polo Nazionale della Dimensione Subacquea

RUOLO NELL'ECOSISTEMA UNDERWATER

Coordinamento strategico dell'ecosistema nazionale e integrazione tra istituzioni, industria e ricerca.

MESSAGGI CHIAVE

- L'underwater rappresenta una priorità strategica per la sicurezza e la competitività del Paese.
- È necessario consolidare un ecosistema nazionale integrato, capace di mettere in rete istituzioni, imprese e ricerca.
- Robotica, autonomia tecnologica e protezione delle infrastrutture critiche saranno i principali driver di sviluppo del prossimo decennio.

Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale

RUOLO NELL'ECOSISTEMA UNDERWATER

Ricerca scientifica, monitoraggio dei fondali e sviluppo di tecnologie per la conoscenza dell'ambiente marino.

MESSAGGI CHIAVE

- La conoscenza dei fondali rappresenta una condizione indispensabile per la sicurezza e lo sviluppo sostenibile.
- Le tecnologie underwater saranno sempre più centrali nei settori energia, telecomunicazioni e monitoraggio ambientale.
- Gli investimenti in ricerca e infrastrutture scientifiche costituiscono un fattore strategico di competitività.

Centro Interuniversitario di Ricerca sui Sistemi Integrati per l'Ambiente Marino

RUOLO NELL'ECOSISTEMA UNDERWATER

Ricerca applicata, robotica subacquea, sistemi autonomi e trasferimento tecnologico.

MESSAGGI CHIAVE

- Il futuro del settore sarà caratterizzato da piattaforme autonome, interoperabili e cooperative.
- Intelligenza artificiale, sensoristica e sistemi multi-robot rappresentano le principali direttrici di innovazione.
- La formazione di nuove competenze e il trasferimento tecnologico saranno determinanti per la crescita della filiera.

Leonardo Sistemi Integrati

RUOLO NELL'ECOSISTEMA UNDERWATER

Tecnologie sonar, acustica subacquea e sistemi di protezione delle infrastrutture critiche.

MESSAGGI CHIAVE

- La sicurezza delle infrastrutture sottomarine diventerà un mercato strategico in forte espansione.
- Lo sviluppo di sistemi sonar intelligenti rappresenta un elemento chiave per la protezione di porti, piattaforme e reti critiche.
- La collaborazione tra industria, ricerca e grandi operatori è fondamentale per accelerare l'innovazione.

NextGeo

RUOLO NELL'ECOSISTEMA UNDERWATER

Servizi offshore, rilievi geofisici, ispezione e gestione del ciclo di vita delle infrastrutture marine.

MESSAGGI CHIAVE

- L'attenzione del mercato si sta spostando dalla sola costruzione alla gestione dell'intero ciclo di vita delle infrastrutture offshore.
- Cavi sottomarini, interconnector energetici ed eolico offshore saranno tra i comparti con le maggiori prospettive di crescita.
- Le tecnologie di survey, monitoraggio e manutenzione rappresenteranno un elemento sempre più strategico per la resilienza delle infrastrutture critiche.

Acronimi e definizioni

AHTS – Anchor Handling Tug Supply: Unità navali impegnate nel posizionamento delle ancore e nella gestione degli ormeggi delle piattaforme offshore.

AUV – Autonomous Underwater Vehicle: Veicolo subacqueo autonomo impiegato per rilievi, ispezioni, monitoraggio e missioni complesse senza equipaggio.

ASW – Anti-Submarine Warfare: Insieme delle operazioni dedicate alla scoperta, tracciamento e contrasto di minacce subacquee.

BOP – Blowout Preventer: Sistema di sicurezza per pozzi di perforazione destinato a prevenire fuoriuscite incontrollate di fluidi ad alta pressione.

BSEE – Bureau of Safety and Environmental Enforcement: Autorità statunitense per la sicurezza e la regolamentazione delle operazioni offshore.

CCZ – Clarion-Clipperton Zone: Area oceanica del Pacifico centrale ricca di noduli polimetallici, rilevante nel deep sea mining.

CEOM – Centro de Experimentação Operacional da Marinha (Portogallo): Centro sperimentale della Marina portoghese per test di sistemi unmanned e operazioni marittime.

COP / CTP – Common Operational Picture / Common Tactical Picture: Quadri situazionali condivisi per il coordinamento operativo in ambiente marittimo.

CSSN – Centro di Supporto e Sperimentazione Navale (Italia): Centro della Marina Militare dedicato a ricerca, sperimentazione e supporto tecnico nel dominio subacqueo.

CTD – Conductivity, Temperature, Depth: Strumento oceanografico per la misura di salinità, temperatura e profondità.

DDS – Dry Deck Shelter: Modulo esterno allagabile installato su sottomarini per il trasporto e lancio di SDV e UUV di grandi dimensioni.

DSV – Diving Support Vessel: Nave dedicata al supporto delle immersioni e alle operazioni subacquee complesse.

EDA – European Defence Agency: Agenzia europea della difesa, coinvolta nella ricerca e nello sviluppo MUS.

EPCI – Engineering, Procurement, Construction and Installation: Contrattualistica completa per progetti offshore, includente progettazione, approvvigionamento, costruzione e installazione.

FPSO – Floating Production Storage and Offloading: Unità galleggiante per la produzione, lo stoccaggio e il trasferimento di idrocarburi.

FSV – Fast Support Vessel: Unità veloci per il trasferimento di personale e materiali verso piattaforme offshore.

GNL – Gas Naturale Liquefatto (LNG): Gas naturale raffreddato a –162 °C per trasporto su metaniere.

HSE – Health and Safety Executive (UK): Ente britannico responsabile per la sicurezza sul lavoro, incluso il settore offshore.

HVAC – High Voltage Alternating Current: Tecnologia di trasmissione elettrica ad alta tensione in corrente alternata.

HVDC – High Voltage Direct Current: Tecnologia di trasmissione elettrica ad alta tensione in corrente continua, tipica di dorsali sottomarine lunghe.

IAS / ISR – Intelligence, Surveillance, Reconnaissance: Capacità integrate di raccolta, analisi e monitoraggio delle informazioni.

IOC – International Oil Company: Compagnia petrolifera integrata di respiro internazionale.

ISA – International Seabed Authority: Autorità internazionale che regola le attività minerarie sul fondo oceanico in acque internazionali.

LARS – Launch and Recovery System: Sistema di lancio e recupero per UUV e mezzi subacquei autonomi.

LNG – Liquefied Natural Gas: Gas naturale liquefatto per trasporto tramite metaniere.

MCM – Mine Countermeasures: Contromisure contro mine navali, spesso condotte tramite UUV.

MLARS – Moonpool Launch and Recovery System: Sistema di lancio/recupero tramite pozzo centrale della nave.

MODU – Mobile Offshore Drilling Unit: Unità mobili di perforazione come jack-up, semisommergibili o drillship.

MOS – Modello/Specifiche MOSA (Modular Open Systems Architecture): Architettura aperta per integrazione modulare di sensori e sottosistemi.

NATO CMRE – Centre for Maritime Research and Experimentation: Centro NATO per ricerca e sperimentazione in dominio marittimo e robotica autonoma.

NOC – National Oil Company: Compagnia petrolifera nazionale di proprietà statale.

NRV – Nave da ricerca: Unità impiegata per test, ricerca e operazioni sperimentali.

OPRED – Offshore Petroleum Regulator for Environment and Decommissioning (UK): Ente britannico di regolazione ambientale e decommissioning offshore.

OSV – Offshore Support Vessel: Sigla generalista di navi di supporto offshore (PSV, AHTS, SOV ecc.).

PNS – Polo Nazionale della Subacquea: Iniziativa strategica italiana che coordina industria, ricerca e forze armate nel dominio underwater.

PSA – Petroleum Safety Authority (Norvegia): Autorità norvegese per la sicurezza nel settore petrolifero e offshore.

PSV – Platform Supply Vessel: Unità dedicate al rifornimento di piattaforme offshore.

ROV – Remotely Operated Vehicle: Veicolo sottomarino telecomandato, dotato di cavo ombelicale e utilizzato per ispezione e intervento.

SAR – Search and Rescue: Operazioni di ricerca e soccorso.

SDV – Swimmer Delivery Vehicle: Veicolo subacqueo “wet” per incursori.

SEA – Programma navale australiano (citato es. SEA 1778): Programmi di capability enhancement nel settore MCM.

SLC – Siluro a Lenta Corsa: Storico mezzo d’assalto subacqueo italiano, citato come riferimento tecnico.

SOV – Service Operation Vessel: Nave dedicata al supporto e alla manutenzione di parchi eolici offshore.

SURF – Subsea Umbilicals, Risers and Flowlines: Infrastrutture sottomarine per interconnessione, trasporto fluidi e controllo pozzi.

TAP – Trans Adriatic Pipeline: Gasdotto che collega Azerbaigian, Grecia, Albania e Italia.

TTL&R – Torpedo Tube Launch and Recovery: Tecnica di lancio/recupero UUV tramite tubo lanciasiluri, tipica dei sottomarini.

UAV – Unmanned Aerial Vehicle: Sistema aereo senza pilota, utilizzato anche in contesti marittimi integrati.

UUV – Unmanned Underwater Vehicle: Veicolo subacqueo autonomo o semi-autonomo.

WTIV – Wind Turbine Installation Vessel: Unità jack-up o specializzate per installare turbine eoliche offshore.

Appendice metodologica

La metodologia di calcolo della filiera attivata dall'underwater si struttura in due step.

Il primo passaggio del Capitolo 3 consiste nella **ricostruzione della base socioeconomica nazionale della filiera,** attraverso i **codici ATECO.**

Filiera manifatturiera underwater: aree produttive

Area produttiva	Codici ATECO	Descrizione attività
Meccanica, fluidodinamica	28.12.00 28.13.00 28.14.00 28.22.09 28.29.99 28.99.20 28.99.99	Apparecchiature fluidodinamiche, pompe e compressori, rubinetti e valvole, apparecchi di sollevamento e movimentazione, macchine varie di impiego generale, robot industriali per scopi speciali e altre macchine per impieghi speciali n.c.a.
Strumentazione, sensoristica e controllo	26.51.10 26.51.29 26.70.12	Strumenti per navigazione, idrologia, geofisica e meteorologia; altri strumenti e apparecchi di misurazione e prova n.c.a.; strumenti ottici di misurazione e controllo
Elettrico, cavi e comunicazioni	26.30.09 27.12.00 27.31.00 27.32.00 27.90.09	Altre apparecchiature per le comunicazioni, apparecchiature per la distribuzione e il controllo dell'elettricità, cavi in fibra ottica, altri fili e cavi elettronici ed elettrici, e altre apparecchiature elettriche n.c.a.
Metallurgia, tubi e strutture	24.20.10 24.20.20 25.11.00	Tubi, condotti, profilati cavi non saldati e relativi raccordi in acciaio; tubi, condotti, profilati cavi saldati e relativi raccordi in acciaio; strutture metalliche e parti di strutture metalliche
Cantieristica, mezzi navali, piattaforme di supporto, robotica e sistemi underwater specialistici	30.11.00 30.99.00 33.15.00	Costruzione di navi e strutture galleggianti, fabbricazione di altri mezzi di trasporto n.c.a., riparazione e manutenzione di navi e imbarcazioni

Fonte: SRM

L'analisi economica della base produttiva si sviluppa in funzione del livello di dettaglio reso disponibile dalle fonti statistiche.

Quando è sufficiente il livello 4 digit, il riferimento diretto è il database Istat Competitività delle imprese, dal quale si ricavano i principali indicatori economici e strutturali, in particolare numerosità delle imprese, fatturato, valore aggiunto e occupati. Quando l'analisi richiede il livello 5 digit, si utilizza il database Istat Struttura delle imprese per i dati su imprese e addetti, mentre fatturato e valore aggiunto sono stimati applicando i valori medi per addetto del corrispondente 4 digit di Istat Competitività.

Quando è necessario arrivare al livello 6 digit, si ricorre ai dati Movimprese per calcolare il peso della categoria più fine rispetto al corrispondente 5 digit; tale quota viene applicata ai dati di imprese e addetti del 5 digit Istat Struttura, mentre fatturato e valore aggiunto sono stimati utilizzando, anche in questo caso, i valori medi per addetto del corrispondente 4 digit di Istat Competitività. In questo modo, il dato macroeconomico del settore più ampio viene attribuito in quota ai codici più fini, ottenendo una stima sufficientemente robusta della dimensione economica della parte di settore riconducibile all'underwater.

Definita la base produttiva ed economica, il **secondo passaggio** del capitolo riguarda il **posizionamento competitivo dell'Italia**, ricostruito attraverso il perimetro dei codici HS6.[65]

Filiera manifatturiera underwater: aree di filiera

Area di filiera	Contenuto prevalente	Riferimento HS6	Area Ateco corrispondente
Robotica e sistemi underwater specialistici	Robotica industriale, macchine speciali e sistemi dedicati ai veicoli e alle operazioni underwater	da 847950 a 847990	Cantieristica e mezzi navali, manutenzione e supporto navale
Strumentazione, sensoristica e controllo underwater	Navigazione, rilievo, oceanografia, misura, monitoraggio, analisi e controllo automatico delle attività underwater	da 901410 a 903290	Strumentazione, sensoristica e controllo
Cavi sottomarini e sistemi elettrici di connessione	Cavi elettrici e dati, quadri, convertitori e sistemi elettrici per trasmissione di energia e informazioni	da 850440 a 854470	Elettrico, cavi e comunicazioni
Macchinari e sistemi di processo subsea e offshore	Pompe, compressori, valvole, organi di regolazione, apparecchi di sollevamento e movimentazione per processi offshore e subsea	da 841350 a 848190	Meccanica, fluidodinamica automazione
Infrastrutture offshore per risorse ed energia	Condotte, casing, tubing, raccordi e strutture metalliche utilizzate per Oil & Gas offshore, pipeline, fondazioni e infrastrutture lineari sottomarine	da 730411 a 730890	Metallurgia, tubi e strutture
Mezzi navali e piattaforme di supporto	Navi speciali, rimorchiatori, piattaforme flottanti e unità offshore di supporto operativo	da 890400 a 890690	Cantieristica e mezzi navali, manutenzione e supporto navale

Fonte: SRM

[65] I codici HS6 (o HS Code a 6 cifre) rappresentano lo standard internazionale del Sistema Armonizzato (Harmonized System), utilizzato a livello globale per classificare le merci spedite attraverso le frontiere doganali.

In questo caso, l'attenzione si concentra sul cuore manifatturiero osservabile della filiera, cioè sull'insieme dei beni fisicamente incorporati nelle attività underwater e nelle infrastrutture che le sostengono. Per rendere l'analisi più robusta ed evitare sovrapposizioni, i codici HS6, elencati in modo dettagliato nella tabella seguente, vengono ricondotti a una logica di attribuzione prevalente, così da associare ciascun prodotto ad una sola area di filiera.

Questa riclassificazione consente di leggere in modo coerente i flussi di importazione ed esportazione, i saldi commerciali, i partner di approvvigionamento e i mercati di destinazione, distinguendo il cuore robotico e tecnologico dalle componenti di sensoristica, connessione, meccanica, infrastruttura e supporto navale.

Aree di filiera connesse all'underwater

Area di filiera	HS6	PRODUCT (Labels)
1. Robotica e sistemi underwater specialistici	847950	Industrial robots, n.e.s.
	847989	Machines and mechanical appliances, n.e.s.
	847990	Parts of machines and mechanical appliances, n.e.s.
2. Strumentazione, sensoristica e controllo underwater	901410	Direction finding compasses
	901480	Navigational instruments and apparatus (excl. for aeronautical or space navigation, compasses and radio navigational equipment)
	901490	Parts and accessories for compasses and other navigational instruments and appliances, n.e.s.
	901540	Photogrammetrical surveying instruments and appliances
	901580	Instruments and appliances used in geodesy, topography, hydrography, oceanography, hydrology, meteorology or geophysics (excl. compasses, rangefinders, theodolites, tachymeters "tacheometers", levels and photogrammetrical surveying instruments and appliances)
	901590	Parts and accessories for instruments and appliances used in geodesy, topography, photogrammetrical surveying, hydrography, oceanography, hydrology, meteorology or geophysics, and for rangefinders, n.e.s.
	902610	Instruments and apparatus for measuring or checking the flow or level of liquids (excl. meters and regulators)
	902620	Instruments and apparatus for measuring or checking pressure of liquids or gases (excl. regulators)
	902680	Instruments or apparatus for measuring or checking variables of liquids or gases, n.e.s.
	902690	Parts and accessories for instruments and apparatus for measuring or checking the flow, level, pressure or other variables of liquids or gases, n.e.s.

	902780	Instruments and apparatus for physical or chemical analysis, or for measuring or checking viscosity, porosity, expansion, surface tension or the like, or for measuring or checking quantities of heat, sound or light, n.e.s.
	902790	Microtomes; parts and accessories of instruments and apparatus for physical or chemical analysis, instruments and apparatus for measuring or checking viscosity, porosity, expansion, surface tension or the like, instruments and apparatus for measuring or checking quantities of heat, sound or light, and of microtomes, n.e.s.
	903180	Instruments, appliances and machines for measuring or checking, not elsewhere specified in chapter 90 (excl. optical)
	903190	Parts and accessories for instruments, appliances and machines for measuring and checking, n.e.s.
	903220	Manostats (excl. taps, cocks and valves of heading 8481)
	903281	Hydraulic or pneumatic regulating or controlling instruments and apparatus (excl. manostats and taps, cocks and valves of heading 8481)
	903289	Regulating or controlling instruments and apparatus (excl. hydraulic or pneumatic, manostats, thermostats, and taps, cocks and valves of heading 8481)
	903290	Parts and accessories for regulating or controlling instruments and apparatus, n.e.s.
3. Cavi sottomarini e sistemi elettrici di connessione	850440	Static converters
	853710	Boards, cabinets and similar combinations of apparatus for electric control or the distribution of electricity, for a voltage <= 1.000 V
	853720	Boards, cabinets and similar combinations of apparatus for electric control or the distribution of electricity, for a voltage > 1.000 V
	854420	Coaxial cable and other coaxial electric conductors, insulated
	854442	Electric conductors for a voltage <= 1.000 V, insulated, fitted with connectors, n.e.s.
	854449	Electric conductors, for a voltage <= 1.000 V, insulated, not fitted with connectors, n.e.s.
	854460	Electric conductors, for a voltage > 1.000 V, insulated, n.e.s.
	854470	Optical fibre cables made up of individually sheathed fibres, whether or not containing electric conductors or fitted with connectors
	841350	Reciprocating positive displacement pumps for liquids, power-driven (excl. those of subheading 8413.11 and 8413,19, fuel, lubricating or cooling medium pumps for internal combustion piston engine and concrete pumps)

	841360	Rotary positive displacement pumps for liquids, power-driven (excl. those of subheading 8413.11 and 8413.19 and fuel, lubricating or cooling medium pumps for internal combustion piston engine)
	841370	Centrifugal pumps, power-driven (excl. those of subheading 8413.11 and 8413.19, fuel, lubricating or cooling medium pumps for internal combustion piston engine and concrete pumps)
	841381	Pumps for liquids, power-driven (excl. those of subheading 8413.11 and 8413.19, fuel, lubricating or cooling medium pumps for internal combustion piston engine, concrete pumps, general reciprocating or rotary positive displacement pumps and centrifugal pumps of all kinds)
	841391	Parts of pumps for liquids, n.e.s.
	841480	Air pumps, air or other gas compressors and ventilating or recycling hoods incorporating a fan, whether or not fitted with filters, having a maximum horizontal side > 120 cm (excl. vacuum pumps, hand- or foot-operated air pumps, compressors for refrigerating equipment and air compressors mounted on a wheeled chassis for towing)
	841490	Parts of air or vacuum pumps, air or other gas compressors, fans and ventilating or recycling hoods incorporating a fan, n.e.s.
4. Macchinari e sistemi di processo subsea e offshore	842511	Pulley tackle and hoists, powered by electric motor (other than skip hoists or hoists of a kind used for raising vehicles)
	842519	Pulley tackle and hoists (other than skip hoists or hoists of a kind used for raising vehicles), non-powered by electric motor
	842531	Winches and capstans powered by electric motor
	842539	Winches and capstans, non-powered by electric motor
	842699	Ships' derricks; cranes, incl. cable cranes (excl. overhead travelling cranes, transporter cranes, gantry cranes, portal or pedestal jib cranes, bridge cranes, mobile lifting frames and straddle carriers, tower cranes, works trucks fitted with a crane, mobile cranes and cranes designed for mounting on road vehicles)
	848110	Pressure-reducing valves
	848120	Valves for oleohydraulic or pneumatic transmission
	848130	Check "non-return" valves for pipes, boiler shells, tanks, vats or the like
	848140	Safety or relief valves
	848180	Appliances for pipes, boiler shells, tanks, vats or the like (excl. pressure-reducing valves, valves for the control of pneumatic power transmission, check "non-return" valves and safety or relief valves)
	848190	Parts of valves and similar articles for pipes, boiler shells, tanks, vats or the like, n.e.s.

	730411	Line pipe of a kind used for oil or gas pipelines, seamless, of stainless steel
	730419	Line pipe of a kind used for oil or gas pipelines, seamless, of iron or steel (excl. products of stainless steel or of cast iron)
	730421	Drill pipe, seamless, of a kind used in drilling for oil or gas, of iron or steel (excl. products of cast iron)
	730429	Casing and tubing, seamless, of iron or steel, of a kind used in drilling for oil or gas (excl. products of cast iron)
	730511	Line pipe of a kind used for oil or gas pipelines, having circular cross-sections and an external diameter of > 406,4 mm, of iron or steel, longitudinally submerged arc welded
	730512	Line pipe of a kind used for oil or gas pipelines, having circular cross-sections and an external diameter of > 406,4 mm, of iron or steel, longitudinally arc welded (excl. products longitudinally submerged arc welded)
	730519	Line pipe of a kind used for oil or gas pipelines, having circular cross-sections and an external diameter of > 406,4 mm, of flat-rolled products of iron or steel (excl. products longitudinally arc welded)
	730611	Line pipe of a kind used for oil or gas pipelines, welded, of flat-rolled products of stainless steel, of an external diameter of <= 406,4 mm
5. Infrastrutture offshore per risorse ed energia	730619	Line pipe of a kind used for oil or gas pipelines, welded, of flat-rolled products of iron or steel, of an external diameter of <= 406,4 mm (excl. products of stainless steel or of cast iron)
	730621	Casing and tubing of a kind used in drilling for oil or gas, welded, of flat-rolled products of stainless steel, of an external diameter of <= 406,4 mm
	730629	Casing and tubing of a kind used in drilling for oil or gas, welded, of flat-rolled products of iron or steel, of an external diameter of <= 406,4 mm (excl. products of stainless steel or of cast iron)
	730721	Flanges of stainless steel (excl. cast products)
	730723	Butt welding tube or pipe fittings of stainless steel (excl. cast products)
	730729	Tube or pipe fittings of stainless steel (excl. cast products, flanges, threaded elbows, bends and sleeves and butt weldings fittings)
	730791	Flanges of iron or steel (excl. cast or stainless products)
	730793	Butt welding fittings of iron or steel (excl. cast iron or stainless steel products, and flanges)
	730799	Tube or pipe fittings, of iron or steel (excl. cast iron or stainless steel products; flanges; threaded elbows, bends and sleeves; butt welding fittings)
	730890	Structures and parts of structures, of iron or steel, n.e.s. (excl. bridges and bridge-sections, towers and lattice masts, doors and windows and their frames, thresholds for doors, props and similar equipment for scaffolding, shuttering, propping or pit-propping)

6. Mezzi navali e piattaforme di supporto	890400	Tugs and pusher craft
	890520	Floating or submersible drilling or production platforms
	890590	Light-vessels, fire-floats, floating cranes and other vessels, the navigability of which is subsidiary to their main function (excl. dredgers, floating or submersible drilling or production platforms; fishing vessels and warships)
	890690	Vessels, incl. lifeboats (excl. warships, rowing boats and other vessels of heading 8901 to 8905 and vessels for breaking up)

Fonte: SRM su Harmonized System Code (HS6)

SRM è il Centro Studi con sede a Napoli collegato al Gruppo Intesa Sanpaolo, nato come presidio intellettuale e scientifico per migliorare la conoscenza del territorio sotto il profilo infrastrutturale, produttivo e sociale, in una prospettiva europea e mediterranea.

Specializzato nell'analisi delle dinamiche economiche nazionali e internazionali, SRM ha sviluppato osservatori permanenti dedicati ai principali ambiti strategici dell'economia, con particolare attenzione a turismo, trasporti marittimi, logistica ed energia. Attraverso l'Osservatorio Maritime Economy, approfondisce in particolare i fenomeni portuali, lo shipping, le infrastrutture logistiche e i traffici marittimi internazionali, con un focus sul ruolo del Mediterraneo nelle reti globali del commercio e dell'energia.

Attraverso rapporti, paper, survey e analisi territoriali, SRM studia inoltre le filiere produttive, le catene globali del valore e i processi di integrazione economica euromediterranea, mettendo in relazione industria, logistica, infrastrutture, energia ed economia del mare. Le attività di ricerca sono orientate a fornire elementi di conoscenza e interpretazione a supporto del dibattito strategico e delle decisioni di imprese, istituzioni e stakeholder pubblici e privati.

Fincantieri è uno dei principali complessi cantieristici al mondo, l'unico attivo in tutti i settori della navalmeccanica ad alta tecnologia. È leader nella costruzione di unità da crociera, unità per la difesa e navi da lavoro offshore. Il Gruppo si distingue per la sua lunga esperienza nello sviluppo di soluzioni subacquee, grazie alla sua struttura industriale integrata in grado di gestire e coordinare tutte le attività legate ai settori civili, della difesa e dual use, oltre che di presidiare i mercati ed internalizzare tecnologie distintive ad alto valore aggiunto. Fincantieri è inoltre leader nell'innovazione sostenibile e nella digitalizzazione del comparto navalmeccanico, essendo attiva nel campo dei sistemi navali meccatronici, elettronici e digitali, della cybersecurity, dell'intelligenza artificiale e delle soluzioni di arredamento navale e dell'offerta di servizi post-vendita, quali il supporto logistico e l'assistenza alle flotte in servizio.

Con oltre 230 anni di storia e più di 7.000 navi costruite, Fincantieri è un player globale con una rete produttiva che comprende 18 cantieri navali in tutto il mondo e oltre 24.000 lavoratori diretti; mantiene il proprio know-how e i centri direzionali in Italia, dove impiega circa 13.000 dipendenti e attiva circa 90.000 posti di lavoro.

OsserMare – Osservatorio Nazionale sull'Economia del Mare di Informare, Azienda Speciale della Camera di Commercio di Frosinone Latina, sviluppa da molti anni attività di analisi e monitoraggio dei fenomeni economici, produttivi e sociali connessi alla Blue Economy italiana. In collaborazione con Unioncamere e con il Centro Studi delle Camere di Commercio Guglielmo Tagliacarne, entrambi appartenenti al SISTAN – Sistema Statistico Nazionale, e attraverso partnership con centri studi altamente specializzati nelle singole filiere, OsserMare realizza studi, rapporti e strumenti conoscitivi per misurare il valore dell'Economia del Mare e seguirne l'evoluzione. Fornisce una base informativa qualificata a supporto di istituzioni, imprese e decisori pubblici e, attraverso il Centro Studi Guglielmo Tagliacarne, partecipa con propri esperti a tavoli e momenti di confronto della Commissione europea e in ambito internazionale. Cura il Rapporto Nazionale sull'Economia del Mare e ha ampliato il proprio campo di osservazione promuovendo anche l'Osservatorio Nazionale Underwater Economy e l'Osservatorio Nazionale Space&Blue, dedicati alla dimensione subacquea e alle interconnessioni tra Economia del Mare ed Economia dello Spazio.

ECFR – European Council on Foreign Relations è un think tank paneuropeo di rilievo internazionale, che mira a fornire analisi all'avanguardia, raccomandazioni di policy e approfondimenti strategici su affari internazionali, trend economici e sfide politiche emergenti. Inoltre, offre uno spazio d'incontro sicuro dove decisori politici, attivisti e opinion shapers possono confrontarsi e condividere idee. In quanto think tank paneuropeo, con sedi a Berlino, Londra, Madrid, Parigi, Roma, Sofia e Varsavia, e una presenza anche a Bruxelles e Washington DC, ECFR combina una profonda conoscenza delle agende nazionali con la capacità di interagire direttamente con i principali decisori politici.

L'ufficio di Roma di ECFR è stato istituito nel gennaio 2010 con l'obiettivo di integrare la prospettiva italiana nel dibattito paneuropeo sulle questioni strategiche per l'Europa. Oltre a politica italiana ed europea, l'ufficio conduce analisi e attività su un ampio spettro di aree critiche, tra cui tecnologia, difesa, geoeconomia, minacce ibride, Mediterraneo e Medio Oriente, Golfo e Africa.

L'underwater sta rapidamente emergendo come una nuova dimensione strategica dell'economia e della sicurezza. Sotto la superficie del mare si sviluppa infatti una rete di infrastrutture, tecnologie e attività industriali sempre più essenziale per il funzionamento delle economie contemporanee: cavi sottomarini, pipeline, sistemi energetici, reti di comunicazione, piattaforme offshore, sensoristica e mezzi autonomi rappresentano oggi asset decisivi per la connettività, la sicurezza economica e la competitività. Il Rapporto analizza questa nuova dimensione attraverso una prospettiva integrata, mettendo in relazione geopolitica, infrastrutture critiche, porti e shipping, filiere industriali, tecnologie e capacità operative. Il Mediterraneo costituisce il naturale punto di osservazione: uno spazio nel quale si concentrano grandi rotte marittime, connessioni energetiche e digitali, interessi strategici e crescenti esigenze di protezione e resilienza.

La ricerca approfondisce il ruolo delle infrastrutture sottomarine nella sicurezza economica europea, le nuove funzioni che porti e sistemi logistici possono assumere a supporto delle attività underwater e le caratteristiche di una filiera industriale che coinvolge cantieristica, robotica, sensoristica, telecomunicazioni, energia, servizi marittimi e ricerca. Particolare attenzione è dedicata al posizionamento dell'Italia, alle sue competenze industriali e tecnologiche e alle opportunità offerte da un settore destinato ad acquisire un peso crescente nelle strategie europee. Il volume propone così una lettura dell'underwater non soltanto come nuova frontiera tecnologica, ma come spazio economico e strategico nel quale infrastrutture, industria, geopolitica e sicurezza risultano sempre più interdipendenti. Comprenderne l'evoluzione significa cogliere alcune delle dinamiche che plasmeranno il futuro del Mediterraneo e della competitività europea. Sotto il mare corre una parte crescente dell'economia globale. Conoscerla, proteggerla e svilupparne le capacità industriali sarà una delle sfide strategiche dei prossimi anni.

Le analisi contenute nel Rapporto rappresentano i risultati di uno specifico progetto di ricerca e non hanno la pretesa di essere esaustive, inoltre non impegnano né rappresentano in alcun modo il pensiero e l'opinione dei Soci fondatori e ordinari di SRM. La ricerca ha finalità esclusivamente conoscitiva e informativa, e non costituisce, ad alcun effetto, un parere, un suggerimento di investimento, un giudizio su aziende o persone citate. Le illustrazioni e le infografiche presenti nello studio sono da intendersi come immagini e non come mappe, per cui l'equivalenza delle aree e dei confini potrebbe non essere rispettata. La riproduzione fedele del testo, anche parziale, può essere effettuata con l'autorizzazione di SRM. È consentito l'uso della ricerca, delle informazioni e delle illustrazioni in essa contenute ai fini di studio e approfondimento di settore, citando regolarmente la fonte.

ISBN 978-88-6906-596-5