

# L'ambiente subacqueo come motore di innovazione tecnologica

di Elio Calcagno e Michele Nones

## ABSTRACT

Il crescente interesse per l'ambiente subacqueo si scontra con i limiti tecnologici che ne limitano lo sfruttamento a fini sia economici che militari. In virtù dell'intrinseca ostilità delle profondità dei mari, questo ambiente sta svolgendo il ruolo di motore dell'innovazione tecnologica, con ricadute anche in molteplici altri settori. Subacquea e innovazione tecnologica vivono, quindi, in una perenne simbiosi. Maggiore è l'innovazione, maggiore è lo sfruttamento da parte dell'uomo nonché la richiesta di migliorare ulteriormente gli equipaggiamenti disponibili. Come avvenuto per l'ambiente spaziale, la spinta generalizzata verso un più intenso utilizzo dell'ambiente subacqueo è destinata a spingere l'innovazione tecnologica che, a sua volta, migliorerà le prospettive di sfruttamento economico con le inevitabili implicazioni geo-strategiche e militari. Nello sviluppare nuove tecnologie sarà importante tenere conto che il settore della subacquea, anche in Italia, è di natura variegato e coinvolge università, attori militari e aziende votate allo sviluppo di tecnologie per applicazioni di difesa e sicurezza o civili. L'innovazione in questi campi non può dunque essere compartimentata e deve essere convogliata il più possibile verso obiettivi comuni nel quadro di una strategia nazionale complessiva.

*Italia | Unione europea | Industria militare | Tecnologia*

keywords

## L'ambiente subacqueo come motore di innovazione tecnologica

di Elio Calcagno e Michele Nones\*

### Introduzione

L'ambiente subacqueo sta assumendo una crescente importanza a livello internazionale nella misura in cui migliorano le capacità tecnologiche che ne consentono l'accesso e l'esplorazione. Fino alla fine del secolo scorso il focus su questo ambiente era concentrato sul piano militare grazie ai sottomarini – soprattutto quelli a propulsione nucleare o dotati di missili con testate nucleari o convenzionali – che continuano a rappresentare uno dei principali strumenti di deterrenza. Negli ultimi cinquant'anni si è ampliato l'utilizzo a scopo economico, iniziato con la pesca e con l'itticoltura, allargandosi allo sfruttamento delle risorse energetiche sia direttamente dai fondali che indirettamente con la posa di una rete di gasdotti e oleodotti, in particolare nel Mar Baltico e nel Mediterraneo, oltre che di quelli che collegano le piattaforme e la costa o alimentano i terminali di imbarco. A questo si è aggiunta una capillare rete di cavi sottomarini che avvolge ormai l'intero mondo, la cui sicurezza è un problema politico, economico e sociale, mentre la resilienza delle infrastrutture è diventata un problema anche militare. Fra i "dotti" non vanno, infine, dimenticati quelli per il trasporto dell'energia elettrica, non più limitati alle esigenze delle isole. Allo stesso tempo, grazie agli sviluppi tecnologici legati alla dimensione subacquea, compresi quelli relativi ai droni sottomarini (*uncrewed underwater vehicle*, Uuv), è infatti oggi possibile un maggiore accesso, sfruttamento e monitoraggio dei fondali<sup>1</sup>. In tempi più recenti, l'estrazione in alto mare delle risorse minerarie (*deep sea mining*) è diventata oggetto di riflessione e dibattito poiché, dopo molti decenni di ricerca, l'innovazione tecnologica potrebbe permettere di sfruttare giacimenti prima irraggiungibili. Si calcola, peraltro, che

<sup>1</sup> Intervista, 5 giugno 2025.

\* Elio Calcagno è ricercatore presso il programma "Difesa, sicurezza e spazio" dell'Istituto Affari Internazionali (IAI). Michele Nones è vicepresidente dello IAI. Gli autori ringraziano lo Stato Maggiore della Difesa, lo Stato Maggiore della Marina, la Direzione nazionale armamenti navali e il Polo nazionale della dimensione subacquea per il sostegno nella fase di ricerca. Un ringraziamento anche a Francesco Bini, tirocinante nel programma "Difesa, sicurezza e spazio" da aprile a luglio 2025, per la raccolta di dati e fonti nella fase di stesura dello studio.

Questo studio è stato preparato per il seminario "L'ambiente subacqueo come motore di innovazione tecnologica" che si è tenuto a Roma il 3 luglio 2025 con il supporto del Gruppo RINA, ed è stato rivisto alla luce del dibattito ivi svoltosi.

il 90 per cento del fondale sottomarino sia ancora inesplorato. Infine, l'aumento dei traffici navali, imposto e consentito dalla globalizzazione, ha aumentato fortemente la dipendenza di molti Paesi, fra cui l'Italia, dalla libertà e sicurezza delle rotte marittime.

La dipendenza dell'economia internazionale dall'utilizzo dal mondo subacqueo, e conseguentemente la sua vulnerabilità, ha richiamato una sempre maggiore attenzione anche in seguito al sabotaggio subito nel settembre 2002 dal gasdotto Nord Stream 2 nel Mar Baltico e con la serie di incidenti/sabotaggi dei cavi per trasmissione dati che si sono succeduti dal febbraio 2024 nella parte meridionale del Mar Rosso (dopo alcuni singoli incidenti nel quindicennio precedente).

In questo nuovo quadro di sfide economiche e geo-strategiche, gli aspetti legati alla sicurezza e alla difesa degli attuali e futuri utilizzi dell'ambiente subacqueo hanno assunto una tale rilevanza da farli diventare secondo alcuni una sesta dimensione in ambito militare.

L'innovazione tecnologica è, insieme, alla base di questo cambiamento e, a sua volta, uno dei suoi principali motori. In generale è tratto distintivo degli ambienti ostili per l'uomo quello di spingere, anzi costringere, verso la ricerca di nuove, più efficaci ed efficienti soluzioni tecnologiche e industriali. I classici obiettivi di riduzione dei pesi, delle dimensioni e dei consumi degli apparati e dei sistemi utilizzati, della resistenza strutturale, dell'affidabilità, della ridondanza, della sicurezza rispetto a ogni minaccia richiedono, quindi, uno sforzo continuo e crescente che tenga conto dell'innovazione di prodotto e di processo a livello multisettoriale e intersettoriale.

Come avvenuto per l'ambiente spaziale, la spinta generalizzata verso un più intenso utilizzo dell'ambiente subacqueo è destinata a imprimere una maggiore velocità e intensità dell'innovazione tecnologica che, a sua volta, migliorerà le prospettive di sfruttamento economico con le inevitabili implicazioni geo-strategiche e militari<sup>2</sup>.

### 1. La crescente importanza dell'ambiente subacqueo

La dimensione subacquea sta subendo una progressiva trasformazione da ambiente sfruttato da pochi attori con capacità avanzate a teatro di competizione globale sempre più presidiato. La fase attuale è caratterizzata dalla spinta tecnologica volta a facilitare l'accesso all'ambiente subacqueo, anche a fini militari o di guerra ibrida, e dalla diffusa consapevolezza che le infrastrutture subacquee sono critiche e strategiche a tutti gli effetti. Gasdotti, oleodotti e cavi sottomarini per le telecomunicazioni e l'energia elettrica sono particolarmente difficili da difendere a causa dell'estensione fisica che li contraddistingue e della profondità del fondale su cui poggiano, ma anche per l'opacità propria dei corpi d'acqua, che

<sup>2</sup> Intervista, 5 giugno 2025.

ne rende particolarmente difficile il monitoraggio e le eventuali contromisure<sup>3</sup>. A queste infrastrutture vanno aggiunte le piattaforme di estrazione e raffinazione di combustibili fossili e, verosimilmente a breve, le strutture per l'estrazione di terre rare e altre risorse naturali dai fondali.

Lo sfruttamento dell'ambiente subacqueo non è una novità (il primo cavo per telegrafo fu posato sui fondali della Manica per collegare Gran Bretagna e Francia a metà del diciannovesimo secolo<sup>4</sup>) ma è in questo nuovo secolo che il settore è stato soggetto a una forte crescita trainata da applicazioni civili e militari. Si stima infatti che attualmente il mercato globale nel settore subacqueo valga circa 50 miliardi di euro all'anno<sup>5</sup>. La robotica, tecnologia abilitante per un maggiore accesso alla dimensione subacquea, rappresenta un elemento comune a tutto il settore. A livello globale, il mercato della robotica subacquea con applicazione militare è già in fermento, come dimostrato dalle stime di crescita dagli attuali 4,41 miliardi di dollari del 2025 ai 6,51 del 2029<sup>6</sup>.

Attualmente, la crescente domanda di minerali rari e critici, inclusi quelli necessari alla decarbonizzazione, unita alla scarsità di alcuni materiali sulla terraferma e alla necessità di molti attori – l'UE in particolare – di diversificare i propri approvvigionamenti, hanno innescato a livello globale una rinnovata attenzione per la possibilità di sfruttare le risorse sotto ai fondali. Allo stesso tempo, preoccupa l'impatto potenziale di queste attività sull'ambiente e sulla biodiversità, vista la fragilità degli ecosistemi marini e la scarsa conoscenza di tale impatto (sicuramente però rilevante). A differenza dell'estrazione di idrocarburi marini il tema dell'estrazione mineraria in acque profonde non è ancora specificamente presente nella legislazione dell'Unione europea e gli Stati membri europei per il momento si muovono in maniera autonoma e non coordinata. A prescindere dalle considerazioni sul loro impatto sull'ambiente, è inevitabile che queste attività rischino di esacerbare il processo di territorializzazione dei mari e la competizione tra Stati che vi fa da sfondo, dando ulteriore rilievo alla guerra sui fondali (*seabed warfare*) e all'innovazione tecnologica che ne deriva.

Il fenomeno della territorializzazione è ben osservabile nel Mediterraneo, e in particolare nel Mediterraneo orientale, dove la scoperta di grandi giacimenti di idrocarburi nei fondali sta portando a tensioni tra Paesi come Turchia, Grecia,

<sup>3</sup> Elio Calcagno e Alessandro Marrone (a cura di), "The Underwater Environment and Europe's Defence and Security", in *Documenti IAI*, n. 23|13 (giugno 2023), <https://www.iai.it/it/node/17225>.

<sup>4</sup> Si veda Tara Ramanathan, "Undersea Cable", in *Encyclopedia Britannica*, voce aggiornata al 28 agosto 2025, <https://www.britannica.com/technology/undersea-cable>.

<sup>5</sup> Fincantieri, *Fincantieri presenta il segmento della Subacquea, ricavi attesi a quota 820 milioni di euro nel 2027*, 19 maggio 2025, <https://www.fincantieri.com/it/media/comunicati-stampa-e-news/2025/fincantieri-presenta-il-segmento-della-subacquea-ricavi-attesi-a-quota-820-milioni-di-euro-nel-2027>.

<sup>6</sup> "Military Unmanned Underwater Vehicles Market Report 2025 - Military UUV Market Expands with AI, Underwater Swarm Technology, and Autonomous Capabilities", in *GlobeNewswire*, 14 marzo 2025, <https://www.globenewswire.com/news-release/2025/03/14/3042779/28124/en.html>.

Cipro, Libano, Egitto e Israele<sup>7</sup>. Si stima infatti che nella regione si trovino 879 milioni di barili di petrolio e quasi 8.100 miliardi di metri cubi di gas<sup>8</sup>.

La minaccia proveniente dall'ambiente subacqueo non si limita ad esso, ma può essere diretta contro attività in superficie e lungo le coste. Il proliferare di Uuv sempre più autonomi e performanti potrebbe avere conseguenze gravi anche sulla sicurezza dei porti e delle navi commerciali. Di conseguenza, la capacità di sorvegliare e proteggere gli interessi economici dell'Europa sopra e sotto il mare non si limita soltanto alla resilienza delle infrastrutture fisiche, ma si estende anche alla sicurezza delle rotte navali. Da una prospettiva mediterranea, in un contesto caratterizzato da uno spazio marittimo relativamente piccolo e molto congestionato, è chiaro il rischio di ingenti danni all'economia causati da attacchi anche limitati. Questo è stato dimostrato dagli attacchi degli Houthi alle navi commerciali in transito attraverso il Mar Rosso a partire da ottobre 2023. Anche se pochi droni e missili del gruppo yemenita hanno effettivamente colpito i loro bersagli, l'impatto sui costi delle assicurazioni e il rischio anche basso di perdere navi sono bastati a convincere gran parte delle compagnie di shipping a scegliere di circumnavigare l'Africa, con aumenti dei prezzi per il consumatore e perdita di affari per i principali porti italiani. Va per altro considerato che, pur coprendo l'1 per cento della superficie acquee della Terra, dal Mediterraneo transita il 20 per cento del trasporto marittimo mondiale, il 65 per cento degli approvvigionamenti energetici europei e il 35 per cento del traffico di greggio<sup>9</sup>.

## 2. La minaccia alle infrastrutture critiche

Ad oggi, fino al 99 per cento dei dati passano attraverso centinaia di cavi sottomarini, per un'estensione complessiva di circa un milione e mezzo di chilometri<sup>10</sup> – quasi cinque volte la distanza dalla Terra alla Luna. L'ambiente sotto alla superficie del mare è anche cruciale per l'estrazione, la raffinazione e il trasporto di petrolio e gas naturale, al punto che un terzo del gas e del petrolio estratti globalmente finisce per transitare in gasdotti e oleodotti o infrastrutture marittime prima di giungere al consumatore<sup>11</sup>. Si può comparare questa fitta rete di gasdotti, oleodotti e cavi a un sistema cardiovascolare che permette alle società globalizzate di funzionare correttamente. Ne consegue che in un mondo sempre più caratterizzato dalla

<sup>7</sup> Pier Paolo Raimondi, "Eastern Mediterranean Energy Resources between Energy Security and Energy Transition: A Regional Perspective", in *IAI Papers*, n. 22|11 (maggio 2022), <https://www.iai.it/it/node/15482>.

<sup>8</sup> Ibid.

<sup>9</sup> Presidenza del Consiglio dei Ministri, *Approvazione del piano del mare per il triennio 2023-2025*, 31 luglio 2023, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2023/10/23/23A05758/sg>.

<sup>10</sup> William Park, "The Deep-Sea 'Emergency Service' that Keeps the Internet Running", in *BBC News*, 15 ottobre 2024, <https://www.bbc.com/future/article/20241014-the-deep-sea-emergency-service-that-keeps-the-internet-running>.

<sup>11</sup> Jeremy Cresswell, "Future Looks Bright for Global Subsea Engineering", in *Energy Voice*, 5 febbraio 2019, <https://www.energyvoice.com/?p=191951>.

competizione tra piccole, medie e grandi potenze, le infrastrutture marittime e subacquee stiano diventando bersagli tanto più appetibili quanto più sono critiche per chi le utilizza. Inoltre, la suddetta opacità dell'ambiente subacqueo (dovuta alla scarsa visibilità e all'inefficienza nei corpi d'acqua delle comunicazioni wireless attualmente in uso) lo rende ideale per sferrare attacchi nella cosiddetta 'zona grigia' tra guerra e pace dove la difficile attribuzione di un atto ostile è di per sé un fattore chiave<sup>12</sup>. Anche per questo motivo Paesi che puntano a minacciare rivali più capaci militarmente ed economicamente, guardano inevitabilmente all'ambiente subacqueo come un'opportunità di investimento significativa in un'ottica di minaccia asimmetrica con bassa probabilità di rappresaglia.

La Russia ha investito molto nello sviluppo di tecnologie ideate per la guerra sui fondali con il preciso scopo di sabotare le infrastrutture critiche subacquee. L'utilità di tali strumenti da una prospettiva russa che storicamente da grande peso alla guerra ibrida, è ulteriormente comprovata dal fatto che Mosca pone queste tecnologie spesso sotto l'autorità del Direttorato per la Ricerca subacquea (*Glavnoye Upravleniye Glubokovodnykh Issledovaniy*, Gugi) e dunque, almeno formalmente, sotto un'autorità civile<sup>13</sup>. La stessa dottrina russa sulla gestione dell'escalation assegna un ruolo di rilievo agli attacchi alle infrastrutture critiche della Nato fin dai tempi dell'Unione Sovietica<sup>14</sup>. Ad esempio, il Gugi ha sotto il suo controllo un numero di sommergibili specializzati nella guerra sui fondali, progettati con caratteristiche utili per operare a grandi profondità, come scafi di titanio o geometrie specifiche per resistere alle alte pressioni. Il *Losharik*, a propulsione nucleare, può infatti raggiungere i 2.500 metri di profondità. Spesso questi sommergibili sono anche muniti di bracci manipolatori e sono abbastanza piccoli da facilitare le manovre sui fondali o in prossimità di infrastrutture sommerse. Le dimensioni ridotte li rendono però inadatti a immersioni troppo lunghe e dunque dipendono talvolta da sommergibili nucleari più grandi modificati per agire da 'navi madre', come il *Belgorod* e il *BS-64 Podmoskovye* – derivati da vecchi sommergibili lanciamissili balistici. Il Gugi si serve poi di navi di superficie allestite come vascelli oceanografici che sono state osservate vicino a cavi a ridosso delle coste di Paesi Nato<sup>15</sup>. Queste piattaforme, come lo *Yantar*, sono dotate di sensori avanzati per mappare i fondali e sono capaci di dispiegare droni e piccoli sommergibili di profondità<sup>16</sup>.

I vascelli oceanografici stanno diventando uno strumento abilitante per la guerra sui fondali, come dimostrano gli investimenti russi in questo settore. Anche la Cina, attratta dal potenziale di questi strumenti per acquisire informazioni preziose sui fondali (e con ogni probabilità sulle infrastrutture subacquee), ha investito molto

<sup>12</sup> Elio Calcagno e Alessandro Marrone (a cura di), "The Underwater Environment", cit.

<sup>13</sup> Ibid.

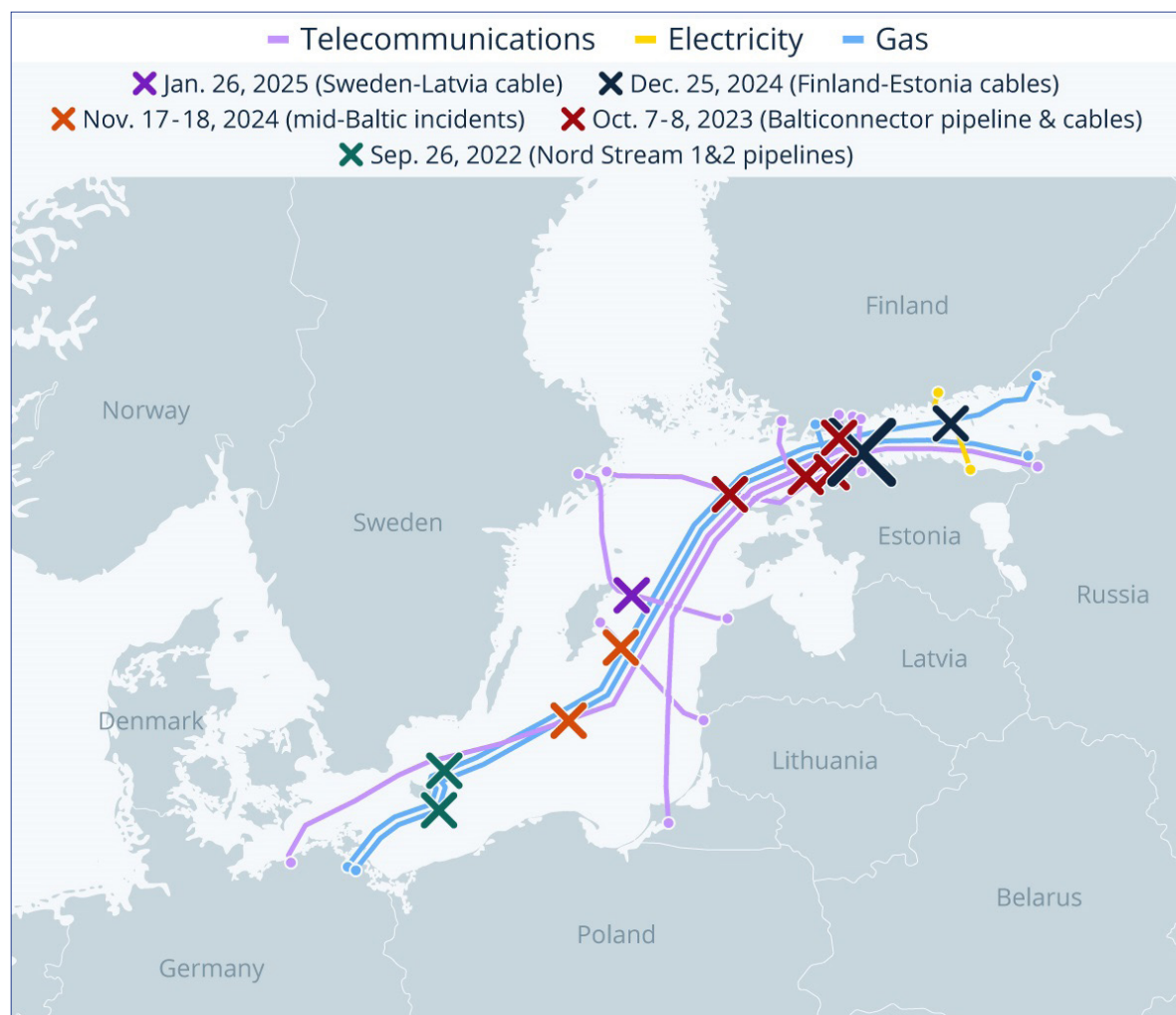
<sup>14</sup> Sidharth Kaushal, "Stalking the Seabed: How Russia Targets Critical Undersea Infrastructure", in *RUSI Commentaries*, 25 maggio 2023, <https://www.rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/stalking-seabed-how-russia-targets-critical-undersea-infrastructure>.

<sup>15</sup> Ibid.

<sup>16</sup> Nurlan Aliyev, "The Mayhem of Russia's 'Research' Fleet", in *War on the Rocks*, 7 gennaio 2025, <https://warontherocks.com/?p=33261>.

su questa capacità, organizzando operazioni su larghissima scala anche in zone geopoliticamente sensibili dell'Indo-Pacifico<sup>17</sup>.

**Figura 1** | Incidenti ai danni di infrastrutture subacquee nel Mar Baltico (2022-2025)



Fonte: Katharina Buchholz, "Baltic Sea Cable Incidents Pile Up", in *Statista*, 6 febbraio 2025, <https://www.statista.com/chart/33892>.

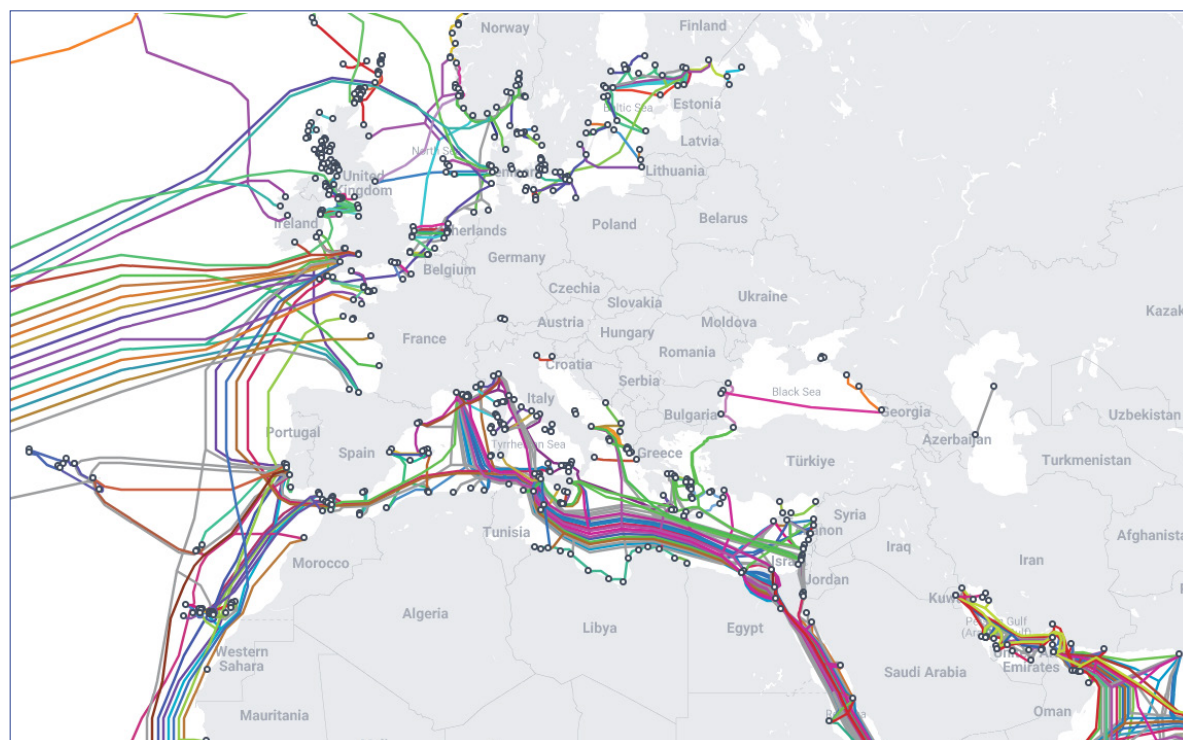
### 3. Il contesto europeo

La geografia fisica e politica del continente europeo, circondato da tre continenti e diverse sacche di instabilità, rende le sue infrastrutture subacquee particolarmente esposte. Questa esposizione è ulteriormente esacerbata dalla presenza di diversi

<sup>17</sup> Matthew Funaiolo, Brian Hart e Aldan Powers-Riggs, "Surveying the Seas. China's Dual-Use Research Operations in the Indian Ocean", in *CSIS Hidden Reach*, 10 gennaio 2024, <https://features.csis.org/hiddenreach/china-indian-ocean-research-vessels>.

colli di bottiglia sparsi per il Mediterraneo allargato<sup>18</sup> che rappresentano un passaggio obbligato per un gran numero di cavi, gasdotti e oleodotti sottomarini, quali gli stretti di Gibilterra, Sicilia, Suez, Bab-el-Mandeb, Taranto e Hormuz (vedi Figura 2).

**Figura 2** | Cavi sottomarini in Europa e nel Mediterraneo allargato



Fonte: TeleGeography, *Submarine Cable Map*, <https://www.submarinecablemap.com>.

Le acque che circondano l'Europa sono inoltre fra le più trafficate al mondo se si considera il traffico di superficie. Questo rende particolarmente sfidante individuare imbarcazioni sospette anche quando esibiscono comportamenti anomali in prossimità di infrastrutture critiche. Il caso studio del Mar Baltico, teatro di diversi possibili sabotaggi negli ultimi anni, dimostra quanto sia difficile prevenire tali azioni anche in mari semichiusi. E questo vale anche per il Mediterraneo<sup>19</sup>.

La difficoltosa attribuzione degli attacchi alle infrastrutture subacquee è ben dimostrata dal caso baltico, dove solo raramente è stato possibile discernere fra

<sup>18</sup> Secondo la *Strategia di sicurezza e difesa per il Mediterraneo del 2022*, il Mediterraneo allargato incorpora l'Europa continentale, il Medio Oriente e le fasce settentrionali e sub-Sahariana del continente africano. Vedi Ministero della Difesa, *Strategia di sicurezza e difesa per il Mediterraneo. Edizione 2022*, [https://web.archive.org/web/20231230181809/https://www.difesa.it/Il\\_Ministro/Documents/Strategia%20Mediterraneo%202022.pdf](https://web.archive.org/web/20231230181809/https://www.difesa.it/Il_Ministro/Documents/Strategia%20Mediterraneo%202022.pdf).

<sup>19</sup> Stefan Lundqvist e Julian Pawlak, "Managing Maritime (In)Security on NATO's Northern Flank", in *U.S. Naval Institute Proceedings*, vol. 151, n. 467 (maggio 2025), <https://www.usni.org/node/64148>.



semplici incidenti e atti di sabotaggio, anche a distanza di mesi o anni. Attualmente il Baltico mette a confronto i decisori politici, i gestori di infrastrutture e le forze armate con la potenziale efficacia di operazioni ibride di questo tipo e con la difficoltà di costruire un sistema di *situational awareness* capillare e persistente.

È poi essenziale trarre le giuste lezioni dal contesto attuale che, pur fornendo spunti importanti sulla vulnerabilità delle infrastrutture, resta fortemente influenzato dal conflitto in Ucraina e dalle tensioni tra Russia e Paesi Nato<sup>20</sup>.

### 4. Le peculiarità dell'ambiente subacqueo rispetto allo spazio

Nel più recente dibattito italiano si associa spesso l'ambiente subacqueo a quello spaziale in ragione dell'inaccessibilità delle due dimensioni in assenza di tecnologie complesse e del loro essere ambienti ostili per l'uomo. Vi sono però significative differenze ed è, quindi, necessario prestare attenzione alle peculiarità dell'ambiente subacqueo.

Prima di tutto quest'ultimo è estremamente opaco, oltre che totalmente buio intorno ai mille metri di profondità (già sotto i duecento metri si entra nella zona crepuscolare con quasi totale assenza di luce). Questo limita non solo ogni contatto visivo ma anche le comunicazioni wireless che, al contrario, facilitano significativamente l'accesso all'orbita, le comunicazioni e la *situational awareness* nello spazio vicino alla terra<sup>21</sup>. Non a caso i sottomarini che attraversano gli oceani da più di un secolo operano il più possibile lontano dalla superficie, minimizzando al massimo le comunicazioni verso/dall'esterno per evitare di essere individuati<sup>22</sup>.

In secondo luogo, dal punto di vista militare, la competizione sotto i mari non è soggetta a consuetudini sull'autocontrollo rispetto all'uso di attacchi di natura cinetica ai danni degli assetti avversari. Questo significa che qualsiasi Paese voglia dotarsi di mezzi utili per la guerra subacquea e nei fondali è libero di farlo secondo i propri interessi. L'opacità marina, insieme alla presenza di aree particolarmente congestionate dal traffico navale, potrebbe permettere a un'ipotetica minaccia di avvicinarsi al bersaglio, ad esempio un oleodotto posato sul fondale, senza essere individuata affatto o in tempo per organizzare una reazione. In orbita, invece, potrebbe essere più facile quantomeno individuare la minaccia nonostante poi non sia necessariamente facile o possibile reagire adeguatamente. In ogni caso lo spazio risulta essere un ambiente molto più trasparente di quello subacqueo.

La terza differenza fondamentale è di natura economica. La *space economy* è da anni in una fase di rapidissima espansione; si stima infatti una crescita dai 630

<sup>20</sup> Intervista, 14 gennaio 2025.

<sup>21</sup> Intervista, 3 giugno 2025.

<sup>22</sup> Elio Calcagno e Alessandro Marrone (a cura di), "The Underwater Environment", cit.

miliardi di dollari nel 2023 a 1,8 trilioni nel 2035<sup>23</sup>. Nonostante la *blue economy* rappresenti una fetta significativa dell'economia globale (cieca 2,5 trilioni di dollari)<sup>24</sup>, il sottoinsieme dell'*underwater economy* è ancora poco sviluppato e trattenuto da limiti tecnologici che solo l'innovazione può superare, aprendo poi le porte a investimenti più consistenti sia del settore pubblico che di quello privato.

### 5. Tecnologie abilitanti

Nonostante lo sfruttamento dell'ambiente subacqueo dipenda da un grande numero di tecnologie che direttamente o indirettamente contribuiscono alla progettazione, controllo e monitoraggio di sistemi e infrastrutture, è possibile identificare cinque macrocategorie tecnologiche abilitanti per potervi operare al meglio: 1) comunicazioni e connettività; 2) autonomia operativa; 3) sensori e navigazione di precisione; 4) generazione e stoccaggio di energia; 5) materiali.

Fra queste, le prime due in particolare appaiono come particolarmente sfidanti, in un'ottica di innovazione funzionale a un più agevole sfruttamento della dimensione subacquea.

Le frequenze radio non si propagano bene sotto la superficie se non su distanze brevi e con poca larghezza di banda, riducendo dunque la complessità dei dati che possono essere trasferiti in tempi utili. Questo limita fortemente le possibilità di controllare droni subacquei o comunicare con sottomarini in tempo reale a distanza<sup>25</sup>. Una possibile soluzione, oggetto di ricerca e sviluppo a livello internazionale, è rappresentata dall'utilizzo di onde acustiche in sostituzione delle onde radio<sup>26</sup>. Tra le varie alternative, incluse le onde ottiche, le onde acustiche sono considerate tra le più promettenti in quanto hanno una portata maggiore rispetto ad altre soluzioni, pur presentando alcune limitazioni significative, come una larghezza di banda in ogni caso limitata o la dispersione di segnale e di frequenza<sup>27</sup>.

Il problema dell'autonomia – che va oltre la semplice automazione già diffusa<sup>28</sup> – è separato dalle comunicazioni, ma allo stesso tempo strettamente legato, poiché ne rappresenta una parziale soluzione. Laddove veicoli subacquei non possono essere controllati in tempo reale, un adeguato grado di autonomia può garantirne

<sup>23</sup> Alizée Acket-Goemaere et al., "Space: The \$1.8 Trillion Opportunity for Global Economic Growth", in *McKinsey Reports*, 8 aprile 2024, <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/space-the-1-point-8-trillion-dollar-opportunity-for-global-economic-growth>.

<sup>24</sup> Global Environment Facility, *Blue Economy*, 2018, [https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/GEF%20Assembly\\_BlueEconomy%20Factsheet\\_6.19.18.pdf](https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/GEF%20Assembly_BlueEconomy%20Factsheet_6.19.18.pdf).

<sup>25</sup> Intervista, 28 maggio 2025.

<sup>26</sup> Milica Stojanovic, "Underwater Acoustic Communication", in *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, 2015, [https://millitsa.coe.neu.edu/publications/book/ency3\\_0.pdf](https://millitsa.coe.neu.edu/publications/book/ency3_0.pdf).

<sup>27</sup> Ibid.

<sup>28</sup> Intervista, 28 maggio 2025.

l'operatività anche senza continui input da parte di operatori umani<sup>29</sup>. Tuttavia, il raggiungimento di un livello tecnologico tale da rendere droni subacquei funzionalmente autonomi non implica la ridondanza di nuove e innovative soluzioni per quel che riguarda le comunicazioni. Al contrario, con il proliferare di sistemi autonomi, in campo militare si prospetta l'utilizzo di sistemi di sistemi, composti da diversi tipi di veicoli sopra e sotto la superficie, con equipaggio, a pilotaggio remoto o autonomi<sup>30</sup>, come delineato dal documento *Future Combat Naval System 2035* della Marina Militare<sup>31</sup>.

Una spiccata autonomia dei sistemi richiede giocoforza un concomitante progresso sul fronte dell'intelligenza artificiale (IA), settore dove l'Europa è oggettivamente indietro rispetto a Paesi come Usa e Cina, non potendo contare su investimenti pubblici e privati della stessa portata, né su un ampio ecosistema di start-up<sup>32</sup>. Nello specifico, l'IA si prospetta strumentale alle attività ad alto valore come il monitoraggio e rilevamento delle anomalie; la sorveglianza, sicurezza e gestione predittiva di infrastrutture; o la crittografia e protezione di dati sensibili.

Sistemi sempre più avanzati dipenderanno in modo crescente dalla disponibilità di molteplici sensori, specialmente con l'aumentare dell'autonomia. Tra questi, guardando in particolare all'applicazione militare, il sonar multistatico<sup>33</sup> è un abilitante fondamentale per facilitare l'integrazione di diversi mezzi subacquei, inclusi quelli dotati di equipaggio e quelli autonomi, in modalità 'sciame' (*swarming*)<sup>34</sup>. La raccolta e interpretazione dei dati provenienti da questi sensori, insieme alle capacità computazionali necessarie, richiede necessariamente un potenziale di stoccaggio energetico elevato sotto forma di batterie adatte all'impiego subacqueo in un ambiente di per sé ostile alle batterie<sup>35</sup>. Le dimensioni contenute rispetto a veicoli analoghi muniti di equipaggio rappresentano uno dei principali vantaggi dei sistemi autonomi poiché permettono loro di manovrare più liberamente in prossimità di infrastrutture o in zone di bassi fondali, e in genere di essere meno facilmente individuabili. Inoltre, la persistenza necessaria affinché i mezzi Uuv raggiungano il proprio potenziale si scontra con la difficoltà di una

<sup>29</sup> Marco Giulio Barone, "Naval Group's Underwater Technologies and the Roadmap to Autonomy", in *FW Magazine*, 8 novembre 2024, <https://www.fw-mag.com/shownews/242/naval-group-rsquo-s-underwater-technologies-and-the-roadmap-to-autonomy>.

<sup>30</sup> Intervista, 3 maggio 2025.

<sup>31</sup> Marina Militare, *Il Future Combat Naval System 2035 nelle operazioni multi-dominio. Edizione 2021*, <https://www.marina.difesa.it/media-cultura/Notiziario-online/Documents/Il%20Future%20Combat%20Naval%20System%202035.pdf>.

<sup>32</sup> Bertin Mertens, "Catch-up with the US or Prosper below the Tech Frontier? An EU Artificial Intelligence Strategy", in *Bruegel Policy Briefs*, 21 ottobre 2024, <https://www.bruegel.org/node/10391>.

<sup>33</sup> Un sonar monostatico, come quelli montati sui sottomarini, è una configurazione dove sorgente e ricevitore sono collocati nella stessa posizione. Una configurazione multistatica si distingue dalla prima in quanto è costituita da una sorgente e diversi ricevitori. In un'ottica di *swarming* e Mum-T, questa tecnologia permette di non esporre certe piattaforme o mezzi durante fasi 'attive' del sonar, spostando su mezzi appositi la sorgente degli impulsi di energia acustica.

<sup>34</sup> Intervista, 5 giugno 2025.

<sup>35</sup> Marco Giulio Barone, "Naval Group's Underwater Technologies and the Roadmap to Autonomy", cit.

navigazione precisa sotto la superficie poiché i sensori di navigazione inerziale, se non possono tornare in superficie per aggiornare periodicamente la posizione reale, subiscono un errore all'aumentare della distanza percorsa (*drifting*). Lo sviluppo dei sistemi di riconoscimento del fondo marino e il dislocamento di fari di riferimento (*beacon*) potrebbero compensare in parte tali errori, ma la ricerca tecnologica si sta muovendo verso sensori quantistici che dovrebbero garantire una soluzione al problema. Il tema dei sensori non tocca poi soltanto i veicoli, ma anche le infrastrutture stesse, che offrono l'opportunità di creare una sensoristica distribuita che sfrutti la presenza di assetti subacquei fissi.

In un'ottica non solo puramente militare, ma anche di sorveglianza delle infrastrutture critiche, la persistenza di mezzi e strumenti anche a grande profondità per periodi di tempo prolungati risulta essere un'altra capacità abilitante per una migliore *situational awareness* rispetto a potenziali minacce. Questo comporta lo sviluppo di materiali che non solo resistano alle alte pressioni che caratterizzano le grandi profondità, ma anche all'azione corrosiva dell'acqua salata tipica di immersioni prolungate<sup>36</sup>.

### 6. Implicazioni per l'Italia

Ad oggi, la principale sfida in Italia e in Europa per quel che riguarda l'innovazione nel campo della subacquea è economica. In un continente che fatica a crescere economicamente e dove, nel settore della difesa, gran parte degli investimenti sono diretti verso i domini operativi tradizionali in un'ottica di conflitto ad alta intensità sul fianco est della Nato (dopo decenni di tagli della spesa militare), la disponibilità di fondi per la ricerca e lo sviluppo delle nuove tecnologie abilitanti è ancora troppo limitata.

Nel settore della difesa l'innovazione spesso viene trainata da requisiti chiari e ambiziosi dalla forza armata di riferimento, ed è ulteriormente spinta dalla prospettiva di procurement dei prodotti risultanti da essa. Nel settore della subacquea, diverse tecnologie non sono ancora sufficientemente mature per permettere alla maggior parte delle marine di pianificare nel dettaglio l'acquisto di sistemi subacquei che non siano i sottomarini. Questo può talvolta scoraggiare le aziende, soprattutto quelle di piccole e medie dimensioni (Pmi), dall'investire nell'innovazione senza la certezza di poter poi vendere i loro sistemi, piattaforme ed equipaggiamenti. Anche per questo, gli operatori civili e privati di infrastrutture critiche possono giocare un ruolo importante nell'investire su ricerca e sviluppo laddove la sorveglianza (o una parte di essa) è di loro competenza ed è necessario dotarsi di strumenti adeguati.

In generale, anche una marina moderna si trova oggi a dover ancora capire esattamente quali sono le capacità offerte dalle tecnologie disponibili attualmente

<sup>36</sup> Intervista, 28 maggio 2025.

e nel breve-medio termine. Da un certo punto di vista una situazione simile è attualmente osservabile anche nell'ambito della difesa per quel che concerne le tecnologie legate alla cibernetica e alla stessa IA.

È comunque chiaro che anche in questo campo l'innovazione in campo civile e militare andranno di pari passo, sia per le sfide comuni a entrambe le applicazioni, che per il fatto che non saranno solo le marine a doversi dotare di strumenti adeguati alla deterrenza sotto la superficie, ma anche gli operatori delle infrastrutture interessati ad acquisire capacità spesso simili per la sorveglianza e la manutenzione delle stesse.

L'Italia, a livello di industria, Marina Militare e ricerca in ambito universitario, si trova oggi all'avanguardia nel settore della subacquea. Questa posizione, costruita nei decenni, deve però essere presidiata e sostenuta da investimenti importanti sia dal settore pubblico che privato. La Difesa e la Marina, con l'istituzione del Polo nazionale della dimensione subacquea (Pns), hanno già intrapreso una strada innovativa, basata sulla cooperazione tra *stakeholder* civili e militari, con l'obiettivo di agire da aggregatore di investimenti e know-how e acceleratore di innovazione. I temi di ricerca e sviluppo che caratterizzano i bandi pubblicati dal Pns fino ad oggi denotano i principali gap capacitivi identificati nel contesto italiano, ossia gli Uuv a *payload* variabile e soluzioni tecnologiche per integrare sensori alla rete di cavi subacquei per trasformarli in un'infrastruttura di sorveglianza diffusa.

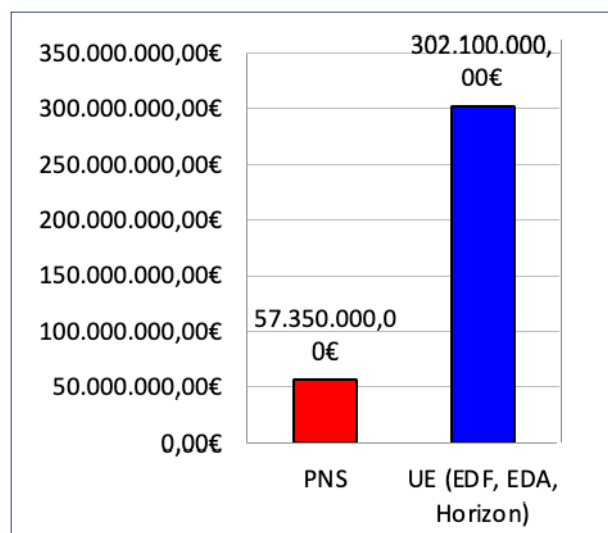
### 7. Gli investimenti italiani ed europei

Uno sguardo al totale complessivo dei fondi messi a disposizione dal Pns nei primi tre bandi (Figura 3) evidenzia come a partire dal primo bando del 2024 siano stati stanziati oltre 57 milioni di euro per progetti incentrati sulle capacità subacquee. Essendo questi da corrispondere a investimenti speculari da parte delle ditte vincitrici, il Pns dovrebbe mobilitare potenzialmente più di 114 milioni di euro mentre l'UE (tra finanziamenti del Fondo europeo per la difesa, di Horizon e dell'Agenzia europea per la difesa) ha allocato dal 2021 302 milioni per progetti legati alla subacquea, escludendo i co-finanziamenti nazionali. I finanziamenti generati dal Pns in meno di due anni sono dunque significativi rispetto al totale targato UE a partire dal 2021, ed è necessario sottolineare che 114 milioni hanno un potenziale significativo nello spingere l'innovazione in un singolo Paese – specialmente in un contesto caratterizzato da scarsità di finanziamenti come quello italiano.

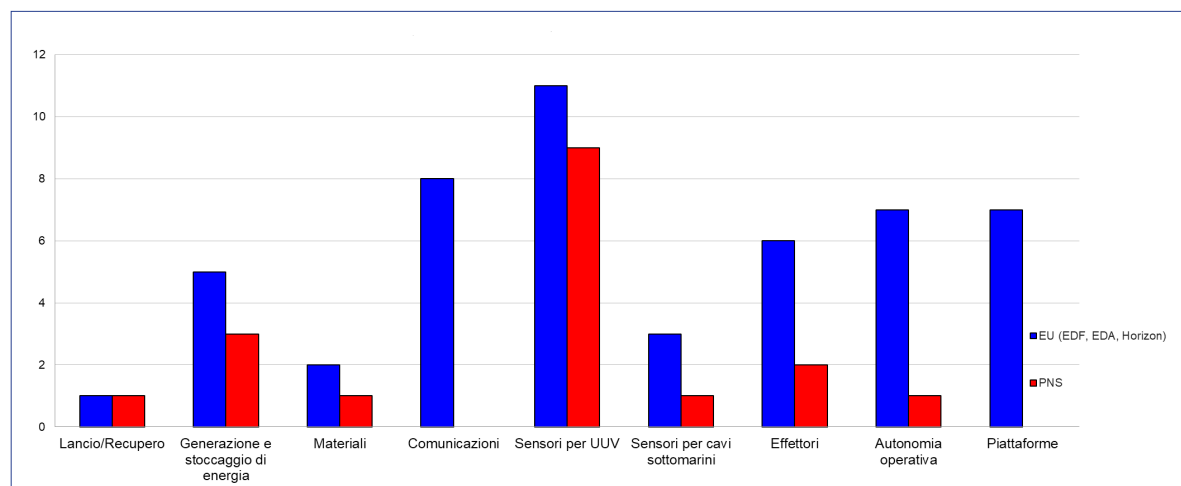
Un conteggio di quanti progetti Pns e UE si concentrano su determinati settori di applicazione dimostra quanto (fatta eccezione delle comunicazioni e delle piattaforme) ci sia un sostanziale allineamento anche in termini dell'importanza data dalle due linee di investimento a ciascun settore (vedi Figura 4). Se da una parte questo potrebbe portare a una potenziale duplicazione di sforzi, dall'altra si può ipotizzare che una crescita dell'industria italiana in termini di know-how in diversi settori legati alla subacquea grazie ai bandi Pns possa rafforzare la sua posizione negoziale e di leadership in occasione di futuri bandi, specialmente in

quelli del Fondo europeo per la difesa (Edf).

**Figura 3** | Valore totale dei finanziamenti emessi per la subacquea dal Pns e dall'UE (2021-2025)



**Figura 4** | Numero di progetti finanziati per settore di applicazione (2021-2025)



Nota: i bandi del Pns (18 in totale) finanziano un singolo settore per progetto, mentre quelli europei (15 in totale) solitamente ne finanziano molteplici, quindi sono conteggiati più volte.

## Conclusioni

L'ambiente subacqueo è e resterà un ambiente "ostile" per l'uomo, ma, nello stesso tempo, un ambiente da cui potranno venire fondamentali risposte alle sfide che attendono le future generazioni. Basti pensare che la superficie del mare corrisponde al 71 per cento della superficie terrestre complessiva.

Il suo utilizzo è stato finora limitato in ambito civile al trasporto di fonti di energia e dati, alla pesca e all'itticoltura, all'estrazione dai fondali di petrolio e gas. In ambito militare vi sono stati dopo la Seconda guerra mondiale pochi casi di scontri armati in mare, mentre le capacità sottomarine hanno avuto un importante e crescente ruolo nella deterrenza. Più recentemente i mezzi subacquei sono stati utilizzati come piattaforme per lanci missilistici, oltre che per la raccolta di informazioni, e le nuove guerre ibride hanno coinvolto in misura crescente le infrastrutture subacquee.

Il crescente interesse per l'ambiente subacqueo si scontra però con i limiti tecnologici tuttora presenti anche se in progressiva riduzione. L'autonomia di molti sistemi impiegati, associata all'impiego dell'IA, consentirà una continua espansione delle iniziative private e pubbliche sia a fini commerciali sia ai fini della sicurezza e difesa.

L'ambiente subacqueo sta, di conseguenza, svolgendo il ruolo di motore dell'innovazione tecnologica con ricadute anche in molteplici altri settori, ad esempio in termini di materiali ad alta resistenza e durabilità, equipaggiamenti a basso consumo, propulsione, robotica, conservazione dell'energia, comunicazioni, variabilità della rilevabilità.

Ambiente subacqueo e innovazione tecnologica vivono, quindi, in una perenne simbiosi. Maggiore è quest'ultima, maggiore è lo sfruttamento da parte dell'uomo e maggiore è la richiesta di migliorare ulteriormente gli equipaggiamenti disponibili, anche per esplorare aree e profondità ancora sconosciute. Ma, nello stesso tempo, le nuove esperienze comportano anche una maggiore e migliore conoscenza dei limiti finora incontrati. Per questo gli ambienti "ostili" come quello subacqueo e spaziale rappresentano preziosi ed efficaci laboratori per l'innovazione.

Anche di qui l'interesse e la necessità di sviluppare adeguate capacità tecnologiche e industriali nel settore subacqueo per un Paese marittimo come l'Italia, la cui economia dipende direttamente e indirettamente dal mare e la cui sicurezza è legata sia alla protezione delle sue frontiere prevalentemente marittime, sia di gran parte dei "dotti" che arrivano attraverso il Mediterraneo e del sistema di trasporti marittimi, essenziali per l'approvvigionamento energetico e l'interscambio commerciale.

Nello sviluppare tali capacità bisogna tenere conto che il settore della subacquea in Italia è variegato e coinvolge università, attori militari e aziende votate allo sviluppo di tecnologie per applicazioni di difesa e sicurezza o civili. L'innovazione in questi settori non può essere compartimentata e deve essere convogliata il più possibile verso obiettivi comuni nel quadro di una strategia nazionale complessiva.

In questo contesto, il Polo nazionale della dimensione subacquea rappresenta un'importante novità da più punti di vista. È stato costituito con un'opportuna separazione fra il livello decisionale e quello operativo, attraverso un'iniziativa mista pubblica-privata in cui, seppur con responsabilità diverse, sono coinvolti

gli enti pubblici e le imprese interessate. La sua sede e la gestione operativa sono assicurate dalla Marina, garantendo continuità, competenza ed efficienza, come le Forze Armate hanno più volte dimostrato di saper fare all'interno di un sistema pubblico che da troppo tempo aspetta di essere ammodernato. All'interno del Pns potranno operare esperti di imprese, grandi e piccole, insieme a quelli di centri di ricerca e università in un vero e proprio laboratorio dell'innovazione tecnologica nell'ambiente subacqueo, dotato anche di adeguate aree e strutture per la sperimentazione. Più recentemente è stata istituita anche una specifica fondazione pubblica-privata col compito di favorire la ricerca di investimenti a sostegno delle attività del Polo. Nel complesso si è costruita una soluzione equilibrata e innovativa che conferma la possibilità di operare efficacemente anche nel nostro Paese, a condizione che si riescano ad allineare i diversi attori istituzionali sulla base di una chiara volontà politica, una definita strategia delle istituzioni competenti, un forte coinvolgimento del mondo industriale e della ricerca, ma anche un minimo volume di risorse finanziarie. Adesso che le basi sono state gettate, è su quest'ultimo terreno che il sistema-Paese dovrà dimostrare la sua determinazione nel garantire la partecipazione italiana alla sfida per la conquista dell'ambiente subacqueo.

Alla luce del complesso dell'analisi svolta, dovrebbero essere messe al centro dell'attenzione del sistema-Paese le seguenti dieci linee di azione:

1. Puntare sullo sviluppo di soluzioni avanzate, in parte proprietarie e in parte cooperative europee, per essere protagonisti nella corsa all'utilizzo dell'ambiente subacqueo, con particolare attenzione agli Uuv poiché saranno questi il fattore abilitante centrale delle operazioni sotto la superficie del mare per scopi sia militari che commerciali.
2. Perseguire un approccio multidisciplinare nelle attività di ricerca e sviluppo per individuare le soluzioni più efficienti, monitorando l'innovazione tecnologica a livello globale per poter sfruttare i risultati conseguiti in qualsiasi settore.
3. Favorire i trasferimenti tecnologici bi-direzionali fra il settore civile e quello della difesa e sicurezza, nel rispetto delle esigenze di riservatezza delle applicazioni per quest'ultimo perché nell'ambiente subacqueo il confine fra i due settori è particolarmente labile.
4. Sostenere le imprese con capacità tecnologiche e industriali localizzate in Italia, in linea con l'approccio tenuto dal Paese in sede europea, prestando una forte attenzione al controllo delle informazioni e al trasferimento all'estero delle tecnologie sviluppate.
5. Includere nel processo innovativo non solo centri di ricerca civili e università, ma anche Pmi e start-up che possono offrire soluzioni interessanti per la difesa anche quando sono state sviluppate per applicazioni puramente civili.
6. Mantenere un livello di investimenti adeguato, legando dove possibile i finanziamenti a concrete prospettive di procurement, considerando che gli attori industriali, specialmente le Pmi che spesso sono l'avanguardia dell'innovazione tecnologica, necessitano di investimenti strutturati e proiettati nel tempo per sostenere la ricerca e assumersi maggiori rischi.
7. Utilizzare il più possibile le opportunità offerte dai finanziamenti europei, in particolare quelli crescenti per il settore difesa, attraverso una maggiore attenzione per la dimensione subacquea nella pianificazione pluriennale.



8. Costruire rapidamente una regolamentazione nazionale delle attività subacquee che ne consenta il controllo ai fini della loro sicurezza complessiva e del rispetto dell'ambiente, ma che non ne appesantisca inutilmente lo sviluppo e la gestione.
9. Partecipare attivamente a tutte le iniziative europee e internazionali volte a definire una regolamentazione comune per l'utilizzo dell'ambiente subacqueo.
10. Continuare a investire nel Pns, in modo da sfruttarne le potenzialità come catalizzatore di investimenti, acceleratore di innovazione, hub per la messa in rete di realtà italiane ed europee.

*aggiornato 6 agosto 2025*

### Istituto Affari Internazionali (IAI)

L'Istituto Affari Internazionali (IAI) è un think tank indipendente, privato e non-profit, fondato nel 1965 su iniziativa di Altiero Spinelli. Lo IAI mira a promuovere la conoscenza della politica internazionale e a contribuire all'avanzamento dell'integrazione europea e della cooperazione multilaterale. Si occupa di temi internazionali di rilevanza strategica quali: integrazione europea, sicurezza e difesa, economia internazionale e *governance* globale, energia e clima, politica estera italiana; e delle dinamiche di cooperazione e conflitto nelle principali aree geopolitiche come Mediterraneo e Medioriente, Asia, Eurasia, Africa e Americhe. Lo IAI pubblica una rivista trimestrale in lingua inglese (*The International Spectator*), una online in italiano (*AffarInternazionali*), due collane di libri (*Trends and Perspectives in International Politics* e *IAI Research Studies*) e varie collane di paper legati ai progetti di ricerca (*Documenti IAI*, *IAI Papers*, ecc.).

Via dei Montecatini, 17 - I-00186 Roma, Italia  
T +39 06 6976831  
[www.iai.it](http://www.iai.it)

## Ultimi DOCUMENTI IAI

Direttore: Alessandro Marrone ([a.marrone@iai.it](mailto:a.marrone@iai.it))

- 25 | 11 Elio Calcagno e Michele Nones, *L'ambiente subacqueo come motore di innovazione tecnologica*
- 25 | 10 Federico Castiglioni, *Van Wittel/Vanvitelli Roundtable and Business Forum Report*
- 25 | 09 Francesca Maremonti, *From the Indo-Pacific to the Enlarged Mediterranean: India's Economic Rise and Strategic Cooperation with the EU and Italy*
- 25 | 08 Matteo Bonomi and Luisa Chiodi, *Advancing EU Enlargement to the Western Balkans: Aligning Expectations and Realities*
- 25 | 07 Alessandro Marrone, *NATO and European Defence during the Trump Administration: A Stocktaking*
- 25 | 06 Federico Castiglioni, *European Competitiveness at Stake: Industrial and Technological Challenges*
- 25 | 05 Alessandro Marrone e Michele Nones, *La nuova partnership tra Italia, Regno Unito e Giappone sul Global Combat Air Programme (Gcap)*
- 25 | 04 Marianna Lunardini and Matteo Bursi, *The Role of the Private Sector in the Global Health Agenda*
- 25 | 03 Alessandro Marrone (ed.), *The New Partnership among Italy, Japan and the UK on the Global Combat Air Programme (GCAP)*
- 25 | 02 Alessandro Marrone, *Il Programma per l'industria europea della difesa: rilevanza, sfide e opportunità per l'Italia*