

AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino

Il ruolo dell'intelligenza artificiale e delle tecnologie robotiche nella transizione ambientale e nella governance climatica dei porti marittimi: il caso di studio di Genova

This is the author's manuscript

Original Citation:

Availability:

This version is available <http://hdl.handle.net/2318/2031130> since 2024-11-18T20:57:42Z

Publisher:

IRCRES

Terms of use:

Open Access

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available under a Creative Commons license can be used according to the terms and conditions of said license. Use of all other works requires consent of the right holder (author or publisher) if not exempted from copyright protection by the applicable law.

(Article begins on next page)

Il ruolo dell'intelligenza artificiale e delle tecnologie robotiche nella transizione ambientale e nella governance climatica dei porti marittimi: il caso di studio di Genova

The role of artificial intelligence and robotic technologies in environmental transition and climate governance of seaports: the case study of Genoa

ANNA NOVAREGIO^{ab}, MONICA CARIOLA^a

^aCNR-IRCrES, Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Ricerca sulla Crescita Economica Sostenibile, Strada delle Cacce 73, 10135 Torino, Italia

^bUniversità di Torino, Dipartimento di Economia e Statistica “Cognetti de Martiis”, Campus Luigi Einaudi, Lungo Dora Siena 100/A, 10154 Torino, Italia

corresponding author: anna.novaresio@ircres.cnr.it

ABSTRACT

As sea ports are increasingly affected by profound transformations (Lattarulo and Piccini, 2017) in response to the new needs for socio-environmental sustainability and adaptation to climate change, the application of Artificial Intelligence and the development of "smart" and robotic technologies have been identified as tools capable of assisting the sustainable transition of ports and the cities in which they are located (Vitali and Foschi, 2021).

This research analyzes the AI-based and robotic technologies developed in the PNRR-funded RAISE project, which pursue the goal of reducing the socio-environmental impacts of the port of Genoa, classifying them by type, purpose, socio-ecological impact, economic effect, TRL, applicability and scalability, and examining their potentialities and criticalities for the promotion of the climate-environmental transition and a sustainable governance of the city-port, by means of a SWOT analysis.

The results of study indicate that, despite some criticalities due to their autonomy range, environmental sensitivity and social acceptability, the examined technologies show a rather high level of technological maturity along with a context-adaptability and a multipurpose nature that make them suitable for the replication and the scaling up. Moreover, the potential synergies with other technologies under development within and outside RAISE could be leveraged to overcome current technical weak points and further extend their application.

KEYWORDS: seaports, smart ports, AI, robotics, sustainable development, twin transition, environmental governance.

DOI: 10.23760/2499-6661.2024.21.04

ISBN: 978-88-98193-36-3

ISSN (online): 2499-6661

HOW TO CITE

Novaresio, A. & Cariola, M. (2024). Il ruolo dell'intelligenza artificiale e delle tecnologie robotiche nella transizione ambientale e nella governance climatica dei porti marittimi: il caso di studio di Genova. In Finardi, U. (cur.). *Cambiamento climatico e sostenibilità: una visione multidisciplinare* (pp. 87-105). Quaderni IRCrES 21. CNR-IRCrES. <http://dx.doi.org/10.23760/2499-6661.2024.21.04>

1. INTRODUZIONE

I porti marittimi si configurano sempre più come infrastrutture strategiche interessate da profonde trasformazioni (Lattarulo e Piccini, 2017) in risposta alle nuove esigenze di sostenibilità socio-ambientale e di adattamento al cambiamento climatico, che dispiega i suoi effetti perniciosi soprattutto a livello locale generando una serie di esternalità negative a carico delle città storiche che li ospitano.

Per questo motivo, sempre più realtà portuali stanno adottando tecnologie verdi al fine di mitigare il loro impatto ambientale e adattarsi alle conseguenze dei cambiamenti climatici in atto.

In questo quadro, la digitalizzazione, l'applicazione dell'Intelligenza Artificiale (AI) e lo sviluppo di tecnologie smart e robotiche sono stati identificati come strumenti in grado di coadiuvare la transizione sostenibile dei porti e delle città in cui sono inseriti (Vitali & Foschi, 2021), in ottemperanza alla logica della "twin transition" promossa dalle istituzioni europee (JRC, 2022).

Un numero crescente di studi recenti, quindi, indaga il ruolo delle politiche e dei progetti di digitalizzazione nel ridurre gli impatti ambientali e sociali dei porti italiani, migliorando la collaborazione porto-città (Cocuzza et al., 2024; Bonciani, 2022; Vitali & Foschi, 2021).

Inserendosi nel solco tracciato da queste aree di ricerca, il presente studio intende offrire un'analisi approfondita degli sviluppi tecnologici in corso in un porto marittimo storico le cui peculiarità locali (ad esempio, la coesistenza di attrazioni turistiche e l'intenso traffico di navi da crociera e commerciali) sono prese in considerazione per esaminare come alcune fra le soluzioni robotiche e intelligenti più innovative in fase di sviluppo e test in seno al progetto finanziato dal (PNRR) RAISE, acronimo per Robotics and Artificial Intelligence for Socio-economic Empowerment¹, potrebbero avere un impatto sulla governance climatico-ambientale delle città portuali con caratteristiche simili.

La ricerca si articola quindi nelle seguenti due sezioni: la prima descrive la complessa interrelazione fra clima, ambiente e attività portuali, evidenziando i trend globali e le differenze regionali e offrendo una panoramica delle principali soluzioni tecnologiche green e digitali per accrescere la sostenibilità dei porti e migliorare il rapporto tra città e porto; la seconda si focalizza sulle soluzioni robotiche e all'insegna dell'AI in fase di sviluppo e test all'interno del progetto RAISE che sono intese a migliorare l'impatto socio-ambientale del porto di Genova, esaminandone le potenzialità e le criticità in ottica di governance climatico-ambientale tramite un'analisi SWOT.

2. GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLE AREE MARINE COSTIERE ED I PERCORSI PER LA DECARBONIZZAZIONE DELLE CITTÀ-PORTO: IL RUOLO DELLA *TWIN TRANSITION*

La sfida climatica esercita crescenti pressioni sui porti marittimi rendendo le attività economico-sociali vulnerabili e a rischio, specialmente nelle realtà che presentano criticità pregresse, come i porti storici e quelli di piccole e medie dimensioni.

Attività antropiche in aree portuali possono contribuire a esacerbare o attenuare crisi climatica a seconda delle strategie e scelte tecnologiche adottate, che assumono un ruolo cruciale nella definizione del futuro delle città-porto.

In questo quadro la cosiddetta *twin transition*, ovvero la transizione gemella, intesa come sinergica e complementare, in direzione della sostenibilità ambientale e della digitalizzazione

¹ RAISE è un progetto finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR) con un investimento del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), che coinvolge 26 partner del mondo accademico e della ricerca, istituzioni e imprese, coordinato dall'Università di Genova (UNIGE), il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e l'Istituto Italiano di Tecnologia (IIT). Per tutti i dettagli: <https://www.raiseiguria.it>

delle attività economico-sociali, fornisce la perfetta cornice concettuale all'interno della quale si stanno sviluppando molte tecnologie digitali avanzate, volte a coadiuvare i percorsi di sostenibilità ambientale in vari contesti, incluso quello marittimo portuale, che rappresenta un banco di prova sfidante per test sperimentali e un potenziale beneficiario per la loro implementazione su ampia scala.

2.1. La sfida climatico-ambientale nelle aree marine portuali: impatti, interdipendenze e differenze regionali

Gli effetti del cambiamento climatico sulle aree costiere in primis, e sui porti marittimi di conseguenza, sono notevoli, a partire dai rischi legati all'innalzamento dei mari, a quelli associati all'aumento della frequenza e dell'intensità dei fenomeni meteorologici estremi fino alla salinizzazione delle falde e all'alternazione e perdita di biodiversità della flora e fauna locale.

Se quindi anche altri fattori incidono sugli ecosistemi marittimi e costieri, come l'arricchimento di sostanze nutrienti dovuto alle attività agricole e industriali costiere e il cosiddetto *overfishing*, il cambiamento climatico detiene il *golden power* fra *drivers* che influenzano le aree e le attività marittime e portuali (Philippart et al., 2011).

A livello mondiale ed europeo non mancano quindi le differenze regionali, che mostrano come l'area Mediterranea sia fra le più esposte ad alcune specifiche conseguenze relative al cambiamento climatico, su tutti l'aumento della temperatura della superficie del mare, che produce effetti a cascata su ecosistemi e catene alimentari locali, la meridionalizzazione e tropicalizzazione delle specie locali, la crescita delle specie aliene e l'aumento di episodi epidemiologici come lo sbiancamento dei coralli e la proliferazione di mucillagine (Katsanevakis et al., 2016; Calvo et al., 2011; Philippart et al., 2011), rendendo le strategie di adattamento e mitigazione delle città costiere cruciali (Valente & Veloso-Gomes, 2020).

Contemporaneamente, le attività antropiche nelle aree portuali e costiere contribuiscono a esacerbare l'odierna crisi climatico-ambientale attraverso emissioni nocive di origine navale e portuale, in cui i porti italiani detengono i primi posti nella classifica europea (T&E, 2022).

La delicatezza della sfida climatico-ambientale per i porti marini è stata quindi colta sia dalle istituzioni sovranazionali sia dagli stakeholders locali, che si stanno adoperando rispettivamente per promuovere e attuare misure sempre più pregnanti per risponderci con efficacia (ESPO, 2023).

2.2. Le soluzioni tecnologiche sostenibili a supporto delle strategie di mitigazione e adattamento alla sfida climatica

Alla luce del fatto che le attività dei porti contribuiscono per il 3% alle emissioni di gas climalteranti mondiali, la decarbonizzazione dei porti marittimi rappresenta una sfida cruciale.

Alzahrani et al. (2021) individuano, quindi, sei aree principali di ricerca e di intervento per la promozione di porti marittimi verdi: 1) l'adozione di sistemi e pratiche per la riduzione del carbonio; 2) l'adozione delle energie rinnovabili; 3) l'ottimizzazione dei costi; 4) l'adozione di tecnologie di controllo intelligente; 5) l'evoluzione del quadro normativo per rendere più verdi i porti marittimi; 6) la promozione di linee guida sulle migliori pratiche per porti marittimi verdi e intelligenti.

Se quindi è centrale il ruolo del settore energetico nella decarbonizzazione dei porti marini, che stanno progressivamente adottando tecnologie e pratiche sostenibili (p. es. *cold-ironing*, combustibili alternativi, sviluppo di comunità energetiche sostenibili) per alleviare l'impatto climatico-ambientale delle proprie attività, l'adozione di tecnologie e sistemi di controllo smart assume un ruolo sempre più rilevante per accompagnare e rafforzare la transizione sostenibile dei porti.

Per questo motivo, l'adozione di smart e micro-grid, la diffusione di sistemi di generazione decentralizzata (DES) e di quelli di gestione dell'energia (EMS), così come lo sviluppo di impianti energetici virtuali e l'applicazione dell'internet of things (IoT) e dell'intelligenza artificiale (AI), sono in crescita nei porti mondiali, dove l'idea di dare vita a porti intelligenti è sempre più diffusa e consolidata (Alzahrani et al., 2021).

L'approccio portuale intelligente, infatti, basato sulla raccolta continua di informazioni sulle attività portuali utilizzando IoT, AI e le tecnologie dei big data, viene visto come modello di governance in grado non solo di ottimizzare i sistemi operativi e aumentare l'efficienza dei porti, ma anche di avere un impatto sull'ecosistema complessivo della città-porto (Buiza et al., 2015).

2.3. Le criticità della governance delle città-porto e il ruolo delle tecnologie digitali per lo sviluppo sostenibile

La promozione di una governance sostenibile della città-porto rappresenta un problema particolarmente sfidante per qualsiasi area portuale, viste la quantità di impatti socio-ambientali delle attività portuali e la numerosità e la complessità degli stakeholder coinvolti.

Un'ampia letteratura esplora quindi i diversi modelli di governance delle città portuali, evidenziando criticità soprattutto nei porti storici e di piccole e medie dimensioni (Moretti, 2019; Serry & Loubet, 2019; Sanchez, 2016).

La gestione dei confini e dell'hinterland rappresenta infatti una sfida impegnativa soprattutto per i porti inseriti in città storiche, dove paesaggi, vocazioni, interessi e obiettivi spesso confliggenti, ma pur sempre complementari, devono conciliarsi in un contesto urbano in continua evoluzione (Moretti et al., 2019; Girard, 2013; Ravetz, 2013).

A fronte del rischio concreto che i porti diventino meri hangar di navi e di container dai numeri e volumi sempre più giganteschi e si riducano a luoghi di passaggio per flussi di turisti frettolosi e inafferrabili, la digitalizzazione, l'applicazione diffusa dell'AI e lo sviluppo di tecnologie intelligenti e robotiche costituiscono un'interessante opportunità per migliorarne sostenibilità, fruibilità e vivibilità, così come quelle delle aree circostanti.

Si fa largo così l'idea di trasformare i porti in hub delle tecnologie intelligenti e poli dell'innovazione in grado di promuovere la transizione sostenibile delle città-porto, sostenendole nella lotta al cambiamento climatico (Clemente et al., 2023; Kovalishin et al., 2023).

Il concetto di "porti intelligenti" ha in realtà una lunga storia, iniziata negli anni Novanta con la nascita di una prima generazione di porti smart che hanno mobilitato tecnologie intelligenti e pratiche manageriali innovative, nonché avviato collaborazioni tra il settore privato e quello pubblico (Belmoukari et al., 2023).

Negli anni Duemila, è emersa una versione più sviluppata di porti intelligenti, il cui obiettivo è innovare costantemente e utilizzare tecnologie avanzate per fornire servizi di alta qualità non solo ai propri clienti, ma anche alle proprie comunità (Yau et al., 2020; Kaliszewski, 2018). Questa generazione di porti intelligenti, che perseguono obiettivi non solo orientati al profitto, ma anche alla comunità, guarda all'uso dell'intelligenza artificiale e delle soluzioni robotiche come uno strumento fondamentale per migliorare le prestazioni del porto e la sua relazione con la città ospitante in tutte le dimensioni della sua sostenibilità. Alla luce di questo, un numero crescente di studi esplora il potenziale dell'ICT e dell'IoT nei processi innovativi di gestione sostenibile dei porti e delle relative città ospitanti (Ettore et al., 2023; Campisi et al., 2022).

Se anche altri studi recenti indagano il ruolo delle politiche e dei progetti di digitalizzazione nel ridurre gli impatti ambientali e sociali dei porti italiani di piccole-medie dimensioni, migliorando la collaborazione porto-città (Cocuzza et al., 2024; Bonciani, 2022; Vitali e Foschi, 2021), questo studio offre un'analisi approfondita degli sviluppi tecnologici avvenuti in un porto marittimo storico le cui peculiarità locali, ad esempio la coesistenza di attrazioni turistiche e l'intenso traffico di navi da crociera e commerciali, sono prese in considerazione per esaminare come le soluzioni intelligenti più innovative potrebbero avere un impatto sulla governance ambientale delle città portuali.

3. IL CASO STUDIO DEL PORTO DI GENOVA: L'ANALISI SWOT DELLE PROPOSTE TECNOLOGICHE DEL PROGETTO RAISE E IL LORO RUOLO NEL PERCORSO DI GOVERNANCE CLIMATICO-AMBIENTALE DELLE CITTÀ-PORTO

Il potenziale dell'intelligenza artificiale e delle tecnologie intelligenti per migliorare la governance ambientale dei siti portuali e delle comunità che li ospitano sta ricevendo crescente attenzione scientifica.

Il presente studio intende contribuire ad alimentare questo filone di ricerca, esaminando come le tecnologie intelligenti possano aiutare lo storico porto marittimo di Genova a migliorare il suo impatto ambientale e il suo rapporto con la comunità ospitante.

Seguendo la strada tracciata da Tommasetti, Troisi e Tuccillo (2014), questa ricerca analizza una selezione di una decina "tecnologie verdi e intelligenti" che sono in fase di sviluppo e implementazione per il porto marittimo di Genova nell'ambito dello Spoke 4 del progetto RAISE.

Le dieci tecnologie sono state analizzate e poi suddivise in tre tipologie principali in base al loro obiettivo finale: strumenti di monitoraggio, soluzioni digitali orientate alla sostenibilità, robot sociali e dispositivi intelligenti.

La ricerca, basata su un'analisi di tipo SWOT (Sarsby, 2016; Leigh, 2009), dedica particolare attenzione all'esame dell'impatto socio-ecologico, delle potenziali ricadute economiche, della prontezza tecnologica, della replicabilità e della scalabilità delle soluzioni intelligenti proposte, al fine di fornire utili indicazioni alle autorità portuali e ai decisori politici impegnati nella ristrutturazione e nel rilancio dei vecchi porti marittimi in città portuali moderne e resilienti.

3.1. Il progetto RAISE Spoke 4: obiettivi e tecnologie a supporto della *twin transition* nella città di Genova

Il progetto RAISE è finalizzato alla creazione e al rafforzamento di ecosistemi dell'innovazione su aree di specializzazione tecnologica coerenti con le vocazioni industriali e di ricerca del territorio ligure, promuovendo e rafforzando la collaborazione tra il sistema della ricerca, il sistema produttivo e le istituzioni territoriali (RAISE, 2024).

In particolare, il progetto si propone di valorizzare e potenziare la ricerca e lo sviluppo in tecnologie basate sui sistemi robotici e di intelligenza artificiale, in quanto aree tecnologiche di frontiera e in cui la Liguria dispone di un notevole know-how, grazie, ad esempio, alla presenza della cosiddetta Robot Valley, un'area della Valpolcevera di Genova situata nella zona di San Quirico, in cui sono si sono sviluppati negli anni alcuni dei più grandi laboratori di ricerca robotica e di IA d'Italia ("IlSole24ore", 2023).

L'obiettivo del progetto è duplice: 1) lo sviluppo e la commercializzazione di soluzioni tecnologiche avanzate; 2) la creazione di un ecosistema altamente attrattivo per aziende, investitori e ricercatori, sia a livello nazionale che internazionale per diverse aree di interesse, tra cui la sanità, la sostenibilità ambientale, i porti intelligenti e le smart city accessibili e inclusive.

RAISE è infatti organizzato secondo il sistema di governance Hub & Spoke e si articola in 5 aree di intervento su singole tematiche, dedicate allo sviluppo e alla promozione di tecnologie innovative nelle suddette aree strategiche per il territorio. Lo Spoke 4, in particolare, ha l'obiettivo di creare porti intelligenti e sostenibili attraverso l'introduzione di tecnologie robotiche (terrestri, aeree, marine e subacquee) e sistemi di intelligenza artificiale che rendano più sicure, efficienti e sostenibili le attività che vengono svolte in area portuale, in riferimento sia al traffico merci sia al traffico passeggeri.

L'Istituto di Ricerca sulla Crescita Economica Sostenibile del CNR è coinvolto nell'analisi delle condizioni abilitanti e degli impatti socio-ambientali delle tecnologie in fase di sviluppo nei progetti 2 e 8, che sono volti allo sviluppo e all'implementazione rispettivamente di robot sociali e dispositivi intelligenti per porti e marine e di strumenti e tecnologie di intelligenza artificiale per rendere i porti più eco-sostenibili.

Il focus sulle tecnologie in cantiere nei progetti 2 e 8 è motivato dal fatto che si configurano come le più promettenti e orientate allo sviluppo sostenibile del porto e della città di Genova; infatti, se gli altri progetti dello Spoke 4 mirano a migliorare la sicurezza e l'efficienza delle operazioni critiche, di monitoraggio e di logistica e trasporto nelle aree portuali, i progetti 2 e 8 perseguono come obiettivo primario quello di migliorare l'impatto socio-ambientale delle attività portuali, offrendo soluzioni tecnologiche dal potenziale abilitante nell'ottica della creazione di una governance climatico-ambientale per la città-porto in esame.

Il presente studio si struttura quindi in due fasi: un'analisi preliminare delle tecnologie in fase di sviluppo nei progetti 2 e 8, volta alla classificazione delle suddette in base al *purpose* e alla loro descrizione lungo 3 dimensioni, quali l'impatto socio-ecologico, le potenziali ricadute economiche e la prontezza tecnologica, colta con 3 indicatori, quali il Technological Readiness Level (TRL)², la replicabilità e la scalabilità; un'analisi SWOT che, sulla base delle caratteristiche emerse nella prima analisi, mira a evidenziare gli attuali punti di forza e debolezza e le potenzialità e criticità future delle soluzioni tecnologiche in esame, nella prospettiva di un loro contributo allo sviluppo di una governance climatico-ambientale per il porto di Genova e una sua estensione a porti con caratteristiche simili.

I contenuti delle suddette analisi si fondano sul materiale raccolto tramite ricerca bibliografica di letteratura scientifica e di reportistica progettuale, e attraverso interviste semi-strutturate rivolte ai responsabili dello sviluppo delle tecnologie e delle soluzioni innovative in esame. La metodologia di raccolta delle informazioni e le domande di ricerca poste sono state ispirate dalle finalità e dalla tipologia delle analisi da performare.

3.2. La classificazione e descrizione delle tecnologie intelligenti e robotiche a supporto della transizione sostenibile

All'interno dei progetti 2 e 8 sono state individuate 9 tecnologie sulla base delle loro finalità e potenzialità per il miglioramento degli impatti socio-ambientali dell'area portuale, che sono state classificate in tre tipologie definite dal loro *purpose*, ovvero dall'obiettivo perseguito: 1) monitoraggio ambientale, 2) supporto alla sostenibilità, 3) supporto alla vivibilità e sicurezza nelle aree portuali.

Nella prima tipologia sono state inserite tecnologie digitali volte alla raccolta e all'analisi di dati reali utili ai fini del monitoraggio della qualità ambientale, come i dispositivi autonomi e intelligenti di *imaging* subacqueo e i sistemi per lo studio delle percezioni e tendenze emissive dei trasporti navali.

Nella seconda categoria rientrano invece tecnologie digitali che coadiuvano la promozione di pratiche sostenibili nel porto, come i dispositivi per la ricognizione e la pulizia del fenomeno del *fouling* di natura biologica dagli scafi navali e i sistemi per la previsione delle emissioni e dei consumi dei trasporti connessi alle attività portuali.

La terza tipologia, infine, comprende le tecnologie di natura robotica e/o sensoristica, che si propongono di migliorare la fruibilità, la vivibilità e la sicurezza nelle aree portuali, come i robot sociali, i sistemi di telecamere e sensori integrati nel porto e le piattaforme di comunicazione e supporto alle attività di diporto.

All'interno di queste tre tipologie tecnologiche è possibile quindi distinguere fra soluzioni improntate all'uso dell'intelligenza artificiale, innovazioni imperniate sull'uso di robot e dispositivi a mobilità autonoma e proposte tecnologiche che integrano la dimensione robotica con il supporto proattivo dell'IA.

² Il concetto di Technological Readiness Level (TRL) si configura come una metodologia per la valutazione del grado di maturità di una tecnologia che viene esaminata rispetto al suo livello di sviluppo ed implementazione e riceve un punteggio in base allo stato di avanzamento del progetto. Si tratta di uno standard introdotto dalla Nasa nel 1974 e di cui l'ISO ha pubblicato nel 2013 una versione ampiamente riconosciuta e, ad oggi, impiegata da numerosi dipartimenti ed enti di sviluppo e regolamentazione tecnologica, fra i quali l'ESA, nonché da agenzie governative, per esempio la Commissione Europea.

Le tecnologie selezionate per lo studio sono quindi state analizzate rispetto a 3 dimensioni, quali l'impatto socio-ecologico, i potenziali effetti economici e la maturità tecnologica, esaminata ed espressa sia in termini di Technological Readiness Level (TRL), inteso come il grado di sviluppo tecnologico e commerciabilità economica della tecnologia su una scala – riassunta nella tabella 1 – che va dal prototipo di cui sono stati osservati e testati solo i principi di base (TRL 1) al sistema testato come efficace ed efficiente in ambiente operativo (TRL9), sia in termini di replicabilità e scalabilità in altre realtà marittime portuali.

Questa fase dello studio mira a fornire un quadro sinottico delle caratteristiche principali delle tecnologie, che è riassunto nella tabella 2.

Le peculiarità che emergono dall'analisi degli strumenti innovativi per il monitoraggio ambientale sono le seguenti: l'utilizzo o l'integrazione dell'intelligenza artificiale nella tecnologia; la capacità di fornire una valutazione puntuale e/o prospettica della situazione ambientale dell'area portuale in relazione agli impatti antropici; un ottimo livello di prontezza tecnologica, che predispone le soluzioni alla replica in altri contesti portuali e allo *scale-up*.

Le soluzioni digitali orientate alla sostenibilità ambientale mostrano invece queste caratteristiche prevalenti: l'integrazione di tecnologie robotiche con soluzioni di IA, lo scopo comune di produrre osservazioni, stime e interventi ambientali più precisi e sicuri e un buon livello di TRL di partenza, che crea un ottimo presupposto per la replicabilità e la diffusione.

Infine, i dispositivi intelligenti utilizzati per accrescere la vivibilità e la sicurezza in ambito portuale si connotano in questo modo: l'utilizzo di soluzioni robotiche integrate con modelli di IA e di sensori evoluti improntati all'IA; l'obiettivo di migliorare la vivibilità e la sicurezza di chi opera per ragioni professionali, sosta per scopi turistico-ricreativi e/o transita per necessità di trasporto (imbarco/sbarco) nelle aree portuali, tenendo conto delle specifiche esigenze anagrafiche, fisiche, ergonomiche e disabilità di questi attori; un moderato TRL iniziale (si tratta di tecnologie già testate in altri contesti operativi, ma con applicativi ancora molto sperimentali in area portuale), che non preclude la possibilità di replica e scalabilità nel futuro.

I risultati emersi nell'analisi esplorativa delle tecnologie offrono terreno fertile per effettuare un'analisi SWOT, atta a valutare il potenziale contributo di ciascuna di queste tecnologie alla promozione di un percorso di transizione e governance climatico-ambientale dell'area portuale di Genova, con lo scopo di individuare le più pronte e promettenti – nonché possibili – sinergie per l'applicazione in contesti portuali con caratteristiche simili.

3.3. L'analisi SWOT delle tecnologie intelligenti e robotiche e il loro ruolo nella governance climatico-ambientale delle città-porto

Lo studio prosegue con l'analisi SWOT (Benzaghta et al., 2021) delle tecnologie in fase di sviluppo e implementazione all'interno dei progetti 2 e 8 dello Spoke 4 di RAISE, i cui risultati, sintetizzati nella tabella 3, costituiscono la premessa per un attento esame delle criticità e opportunità offerte da queste tecnologie, non soltanto nell'ottica di una loro applicazione e diffusione commerciale, ma anche di un loro ruolo come dispositivi di supporto decisionale per una governance climatico-ambientale delle città-porto in cui vengano impiegati.

Da un lato, le tecnologie in evidenza hanno una maturità avanzata: in alcuni casi sono anche brevettate, soprattutto a livello dei dispositivi fisici sviluppati (sensori, droni marini e robot sociali), che vengono integrati con modelli di intelligenza artificiale volti ad aumentarne la capacità di azione e l'autonomia decisionale. Inoltre, si configurano come *context-specific* e/o *multipurpose*, caratteristiche che rendono le tecnologie adatte a eventuali *scale-up*. Dall'altro lato, evidenziano alcuni limiti legati all'autonomia, alla difficoltà di recupero di dati precisi su cui effettuare un'efficace *training* degli algoritmi di IA e alla complessità della loro gestione, limiti che possono generare *bias* interpretativi dei risultati prodotti e informazioni ricavate minando l'affidabilità degli strumenti e ostacolandone un impiego più diffuso. Tuttavia, se molti di questi punti di debolezza hanno un impatto contenuto sugli applicativi in area portuale (p. es. limiti di autonomia), altri sono già oggetto di intervento e/o mostrano margini per un loro miglioramento

e superamento, per esempio, grazie a un loro perfezionamento tramite l'interazione sinergica con tecnologie complementari.

Sul fronte delle criticità esogene rispetto allo sviluppo tecnologico in sé, si segnala la suscettibilità alle condizioni ambientali e meteorologiche variabili e/o estreme e i rischi di accettabilità e/o scarsa conoscenza della tecnologia da parte degli stakeholder e utenti. Tuttavia, i test sperimentali all'interno del progetto costituiscono un'ottima opportunità per accrescere o migliorare la capacità delle tecnologie di integrare nuovi parametri di misurazione, adattarsi alla loro continua evoluzione e mostrarsi utili e affidabili device evoluti con cui interagire.

Sul fronte delle opportunità offerte da queste tecnologie, oltre alle possibilità di *scale-up* commerciale in ambiti e/o contesti diversi da quelli per cui sono state concepite e sviluppate originariamente, si evidenziano la possibilità di interazione sinergica con altre tecnologie sviluppate sia all'interno del progetto stesso sia esterne ad esso (es. Starlink) e le potenzialità in termini di utilizzo per *compliance* e *nudging* ambientale (Bartmann, 2022), nonché di assistenza anti-infortunistica e a soggetti fragili in contesti portuali.

La tabella 4 mostra le principali peculiarità e prospettive applicative delle tre tipologie di tecnologie esaminate che sono emerse dall'analisi tecnologica e da quella SWOT; si possono riassumere come segue:

- gli **strumenti innovativi per il monitoraggio ambientale** si pongono come tecnologie basate sull'IA dalla maturità avanzata che, consentendo una valutazione puntuale e/o prospettica della situazione ambientale dell'area portuale in relazione agli impatti antropici, offrono promettenti applicativi *multi-purpose* e *context-adaptive* per fini pubblici e commerciali;
- le **soluzioni digitali orientate alla sostenibilità ambientale** si configurano come tecnologie spesso complementari fra loro o con altre tecnologie di RAISE, dotate di un buon TRL di partenza e che, integrando robot con l'IA al fine di svolgere in autonomia la raccolta di osservazioni utili a produrre stime e interventi ambientali più precisi e sicuri, possono svolgere un ruolo nel miglioramento della sostenibilità e della governance ambientale in area portuale tramite azioni specifiche (pulizia navale) o contributi indiretti (fornitura dati e stime utili per la pianificazione delle attività portuali);
- i **dispositivi intelligenti utilizzati per accrescere la vivibilità e la sicurezza in ambito portuale** rappresentano invece tecnologie che integrano robotica e sensoristica avanzata con algoritmi di IA e che, pur con un TRL di partenza moderato, si mostrano promettenti per il miglioramento della fruibilità, vivibilità e sicurezza dei porti, soprattutto quando cresceranno la conoscenza e l'accettabilità di queste soluzioni innovative.

Si conclude evidenziando tre principali contributi trasversali alle tecnologie analizzate in ottica di transizione e governance climatico-ambientale: 1) la fornitura di dati reali e stime previsionali su variabili ambientali in continua evoluzione, che alimentino e stimolino lo sviluppo e l'aggiornamento continuo e adattivo delle politiche locali; 2) il supporto alla sicurezza e alla vivibilità delle attività lavorative portuali e al miglioramento dell'esperienza portuale per scopi turistici; 3) la formazione di un *milieu* tecnologico e di *best practice* fondativo e fondamentale per la creazione di un ecosistema città-porto innovativo, intelligente e sostenibile.

4. CONCLUSIONE

La sfida climatica richiede l'impiego di tutte le risorse e le tecnologie a disposizione, che devono essere utilizzate sinergicamente per raggiungere l'obiettivo della neutralità carbonica. La *twin transition* offre pertanto un'ottima soluzione per le aree portuali, che hanno vissuto negli ultimi decenni una profonda trasformazione verso una maggiore sostenibilità e digitalizzazione.

Il presente studio approfondisce gli sviluppi tecnologici in corso nel porto di Genova, stimolati dal progetto RAISE, che mira alla creazione e al rafforzamento di un ecosistema d'innovazione sul territorio ligure, che trovi il suo fulcro attorno alla principale realtà portuale della regione.

Tenendo conto delle peculiarità locali di un porto storico affacciato sul mar Mediterraneo, come Genova – quali, ad esempio, la vicinanza al centro storico, la coesistenza di attrazioni turistiche e l'intenso traffico di navi da crociera e commerciali – questa ricerca ha esaminato 9 soluzioni robotiche e intelligenti orientate alla sostenibilità ambientale, attualmente in fase di sviluppo e test all'interno dei progetti 2 e 8 dello Spoke 4 di RAISE, al fine di indagare il loro impatto sulla governance climatico-ambientale delle città portuali con caratteristiche simili.

Individuati i 3 principali obiettivi e applicativi che le distinguono (monitoraggio ambientale, promozione della sostenibilità e supporto alla vivibilità e sicurezza nelle aree portuali), le suddette tecnologie sono state esaminate rispetto a 3 dimensioni critiche, quali l'impatto socio-ecologico, i potenziali effetti economici e la maturità tecnologica.

È stata poi effettuata un'analisi SWOT, da cui è emerso come le tecnologie esaminate possano contribuire non solo al miglioramento dell'esperienza portuale in termini di qualità ambientale e di sicurezza e vivibilità per gli attori che lo animano, ma anche allo sviluppo e all'aggiornamento adattivo delle politiche locali affinché siano in linea con l'evoluzione dell'attività portuali e delle aree limitrofe.

Si evidenzia, inoltre, come gli sviluppi tecnologici ed i test sperimentali all'interno del progetto costituiscono un *milieu* tecnologico e di *best practice* indispensabile per la creazione di un ecosistema città-porto innovativo, intelligente e sostenibile.

Da questo studio emergono quindi punti di contatto e di interazione sinergica fra le tecnologie in fase di sviluppo all'interno dei progetti 2 e 8 con i dispositivi in elaborazione non solo negli altri progetti dello Spoke 4, ma anche di altri Spoke RAISE e di altri progetti inseriti nella cornice concettuale e finanziaria del Piano Nazionale di Recupero e Resilienza, che rendono queste soluzioni ancora più interessanti nell'ottica di una loro replica e diffusione in realtà similari.

Si conclude segnalando l'eccellente opportunità offerta dai bandi "a cascata" di RAISE (RAISE, 2024) per estendere lo sviluppo e le applicazioni delle soluzioni tecnologiche messe a punto finora oltre il perimetro regionale ligure, concretizzando le potenzialità della *twin transition* per la promozione della *blue economy*, la principale strategia di sviluppo sostenibile delle aree marittime e costiere indicata a livello europeo e internazionale (EC, 2024; WB, 2017).

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Alzahrani, A., Petri, I., Rezgui, Y., & Ghoroghi, A. (2021). Decarbonisation of seaports: A review and directions for future research. *Energy Strategy Reviews*, 38, 100727. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100727>
- Bartmann, M. (2022). The Ethics of AI-Powered Climate Nudging – How Much AI Should We Use to Save the Planet? *Sustainability*, 14(9), 5153. <https://doi.org/10.3390/su14095153>
- Belmoukari, B., Audy, J.F., & Forget, P. (2023). Smart port: a systematic literature review. *European Transport Research Review*, 15(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00581-6>
- Benzaghta, M.A., Elwalda, A., Mousa, M.M., Erkan, I., & Rahman, M. (2021). SWOT analysis applications: An integrative literature review. *Journal of Global Business Insights*, 6(1), pp. 54-72. <https://www.doi.org/10.5038/2640-6489.6.1.1148>
- Boncini, B. (2022). The collaboration between port and city in low carbon transition: the case of Livorno. In Vitali, G. & Zoppi, I.M. (eds). *CNR case histories in the Blue Planet Economy* (pp. 33-38). Quaderni IRCrES 16. CNR-IRCrES. <http://dx.doi.org/10.23760/2499-6661.2022.16.05>
- Buiza, G., Cepolina, S., Dobrijevic, A., del Mar Cerbán, M., Djordjevic, O., González, C. (2015). Current situation of the mediterranean container ports regarding the operational, energy and environment areas. In *2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management* (pp. 530-536). IEEE. DOI: [10.1109/IESM.2015.7380209](https://doi.org/10.1109/IESM.2015.7380209)

- Calvo, E., Simó, R., Coma, R., Ribes, M., Pascual, J., Sabatés, A., Gili J.M., & Pelejero, C. (2011). Effects of climate change on Mediterranean marine ecosystems: the case of the Catalan Sea. *Climate Research*, 50(1), pp. 1-29. DOI: [10.3354/cr01040](https://doi.org/10.3354/cr01040)
- Campisi, T., Marinello, S., Costantini, G., Laghi, L., Mascia, S., Matteucci, F., & Serrau, D. (2022). Locally integrated partnership as a tool to implement a Smart Port Management Strategy: The case of the port of Ravenna (Italy). *Ocean & Coastal Management*, 224. DOI: [10.1016/j.ocecoaman.2022.106179](https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106179)
- Clemente, D., Cabral, T., Rosa-Santos, P., & Taveira-Pinto, F. (2023). Blue Seaports: The Smart, Sustainable and Electrified Ports of the Future. *Smart Cities*, 6(3), pp. 1560-1588. <https://doi.org/10.3390/smartcities6030074>
- Cocuzza, E., Ignaccolo, M., & Campisi, T. (2024, March). An analysis of the development of smart ports in the Sicilian context. In *AIP Conference Proceedings*. 3030(1). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0193795>
- Danielis, R., & Gregori, T. (2013). An input-output-based methodology to estimate the economic role of a port: The case of the port system of the Friuli Venezia Giulia Region, Italy. *Maritime Economics & Logistics*, 15, pp. 222-255. <https://doi.org/10.1057/mel.2013.1>
- EC (2024). *EU Blue Economy Observatory: EU Blue Economy Sectors*. https://blue-economy-observatory.ec.europa.eu/eu-blue-economy-sectors_en
- EC (2014). *Horizon 2020 Work Programme(s) General Annex G “Technology readiness levels (TRL)”*. https://ec.europa.eu/isa2/sites/isa/files/technology_readiness_revisited
- ESPO (2023). *Annual Report 2022-2023. European Sea Ports Organisation*. <https://horizoneuropencppportal.eu/sites/default/files/2024-05>
- Ettore, B., Daldanise, G., Giovane di Girasole, E., & Clemente, M. (2023). Co-Planning Port–City 2030: The InterACT Approach as a Booster for Port-City Sustainable Development. *Sustainability*, 15(21), 15641. <https://doi.org/10.3390/su152115641>
- Fusco Girard, L. (2013). Toward a smart sustainable development of port cities/areas: The role of the “Historic Urban Landscape” approach. *Sustainability*, 5(10), pp. 4329-4348. <https://doi.org/10.3390/su5104329>
- García-Onetti, J., Scherer, M.E., & Barragán, J.M. (2018). Integrated and ecosystemic approaches for bridging the gap between environmental management and port management. *Journal of environmental management*, 206, pp. 615-624. DOI: [10.1016/j.jenvman.2017.11.004](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.004)
- Hossain, T., Adams, M., & Walker, T.R. (2021). Role of sustainability in global seaports. *Ocean & Coastal Management*, 202, 105435. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105435>
- Forcade, de R. (2023, 9 giugno). Cresce la robot valley di Genova Viaggio nella cittadella dell’It. *IlSole24Ore*. <https://www.ilssole24ore.com/art/cresce-robot-valley-genova-viaggio-cittadella>
- Jonas, A.E., Wurzel, R.K., Monaghan, E., & Osthorst, W. (2017). Climate change, the green economy and reimagining the city: the case of structurally disadvantaged European maritime port cities. *Die Erde*, 148(4), pp. 197-211. <https://doi.org/10.12854/erde-148-49>
- JRC. (2022). *The twin green & digital transition: How sustainable digital technologies could enable a carbon-neutral EU by 2050*. Report. <https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates>
- Kaliszewski, A. (2018). Fifth and sixth generation ports (5 GP, 6GP)—evolution of economic and social roles of ports. *Retrieved*, 5(1). Pp. 1-31. <https://www.researchgate.net/publication/324497972>
- Katsanevakis, S., Tempera, F., & Teixeira, H. (2016). Mapping the impact of alien species on marine ecosystems: the Mediterranean Sea case study. *Diversity and Distributions*, 22(6), pp. 694-707. <https://doi.org/10.1111/ddi.12429>
- Kovalishin, P., Nikitakos, N., Svilicic, B., Zhang, J., Nikishin, A., Dalaklis, D., Kharitonov, M., & Stefanakou, A.A. (2023). Using Artificial Intelligence (AI) methods for effectively responding to climate change at marine ports. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 7(1), 2186589. <http://dx.doi.org/10.1080/25725084.2023.2186589>

- Leigh, D. (2009). SWOT Analysis. In Silber, K.H., Foshay, W.R., Watkins, R., Leigh, D., Moseley, J.L., & Dessinger, J.C. (eds). *Handbook of Improving Performance in the Workplace* 1 (pp. 115-140). <https://doi.org/10.1002/9780470592663.ch24>
- Moretti, B. (2019). Governance patterns on the urban-port threshold: The emergence of the city of the cluster. *PortusPlus*, 8(1), s.p. https://iris.unige.it/bitstream/11567/1019921/1/2019_BM_PORTUSplus%208.pdf
- Moretti, B., Komossa, S., Marzot, N., & Andriani, C. (2019). States of co-existence and border projects in port cities: Genoa and Rotterdam compared. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Urban Design and Planning*, 172(5), pp. 191-202. DOI: [10.1680/jurdp.18.00037](https://doi.org/10.1680/jurdp.18.00037)
- Mudronja, G., Jugović, A., & Škalamera-Alilović, D. (2020). Seaports and economic growth: Panel data analysis of EU port regions. *Journal of marine science and engineering*, 8(12), 1017. <https://doi.org/10.3390/jmse8121017>
- Nogué-Algueró, B. (2020). Growth in the docks: Ports, metabolic flows and socio-environmental impacts. *Sustainability Science*, 15(1), pp. 11-30. DOI: [10.1007/s11625-019-00764-y](https://doi.org/10.1007/s11625-019-00764-y)
- Philippart, C.J., Anadón, R., Danovaro, R., Dippner, J.W., Drinkwater, K.F., Hawkins, S.J., Oguz, T., O'Sullivan, G., & Reid, P.C. (2011). Impacts of climate change on European marine ecosystems: observations, expectations and indicators. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 400(1-2), pp. 52-69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2011.02.023>
- Magli, D. (2021, April 15). *What is a green port?* Port technology international. <https://www.porttechnology.org/news/what-is-a-green-port/>
- Ravetz, J. (2013). New futures for older ports: Synergistic development in a global urban system. *Sustainability*, 5(12), pp. 5100-5118. <https://doi.org/10.3390/su5125100>
- Sánchez, J.M. (2016, July). *Port-City governance. A comparative analysis in the European context*. Paper presented at the AESOP YA Conference, Gent, Belgium (pp. 1-15). https://www.researchgate.net/publication/302585340_Port-City_governance
- Sarsby, A. (2016). *SWOT analysis: A guide to SWOT for business studies students*. Spectaris Ltd.
- Serry, A., & Loubet, L. (2019, November). *Comparative analysis of port governance and cooperation between actors in European port-cities*. 2019 World of Shipping Portugal. An International Research Conference on Maritime Affairs. <https://www.researchgate.net/publication/337906916>
- Transport & Environment [T&E]. (2022, February). *EU Ports' Climate Performance. An analysis of maritime supply chain and at berth emissions*. Briefing. https://te-cdn.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com/files/2202_Port_Rankings_briefing-1.pdf
- Tommasetti, A., Troisi, O., & Tuccillo, C. (2014). Smart and green technologies in the Mediterranean ports: the Genoa port case study. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Contemporary Marketing Issues (ICMI)* (pp. 480-488). DOI: [10.13140/2.1.4779.8408](https://doi.org/10.13140/2.1.4779.8408)
- Yau, K.-L.A., Peng, S., Qadir, J., Low, Y.-C., & Ling, M.H. (2020). Towards smart port infrastructures: Enhancing port activities using information and communications technology. *IEEE Access*, 8, pp. 83387-83404. DOI: [10.1109/ACCESS.2020.2990961](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2990961)
- Valente, S., & Veloso-Gomes, F. (2020). Coastal climate adaptation in port-cities: adaptation deficits, barriers, and challenges ahead. *Journal of environmental planning and management*, 63(3), pp. 389-414. <https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1557609>
- Vitali G. & Foschi A.D. (2021). Nuove tecnologie digitali e servizi portuali: il ruolo delle città. In Bonciani, B., Bordato, L., Di Girasole, E., *Dialoghi fra porto e città nell'epoca della globalizzazione. Per un approccio multidisciplinare alla portualità*. Aracne Editrice. ISBN: 979-12-80414-00-7.
- World Bank. (2017). *What is the Blue Economy?* <https://www.worldbank.org/en/news/infographic/2017/06/06/blue-economy>

6. APPENDICE

Tabella 1. I livelli di maturità tecnologica espressi in termini di TRL

TRL 1 – Basic principles observed
TRL 2 – Technology concept formulated
TRL 3 – Experimental proof of concept
TRL 4 – Technology validated in lab
TRL 5 – Technology validated in relevant environment
TRL 6 – Technology demonstrated in relevant environment
TRL 7 – System prototype demonstration in operational environment
TRL 8 – System complete and qualified
TRL 9 – Actual system proven in operational environment

Fonte: EC, 2014.

Tabella 2. Le tecnologie digitali e robotiche per la transizione e governance ambientale del porto di Genova

TECNOLOGIA	TIPOLOGIA	OBIETTIVO	IMPATTO SOCIO-ECOLOGICO	IMPATTO ECONOMICO	TRL	REPLICABILITA'	SCALABILITA'
<i>1) Monitoraggio AI della mega-fauna marina nell'ambiente portuale utilizzando dispositivi autonomi e intelligenti per l'acquisizione e l'elaborazione delle immagini</i>	Tecnologia basata sull'AI	Valutazione della biodiversità dell'ambiente marino tramite osservazione e monitoraggio di specie commerciali e invasive nell'ambiente portuale.	Tutela della biodiversità e lotta alle specie aliene. Aumento della sicurezza delle operazioni di monitoraggio grazie alla minimizzazione dell'intervento umano e di veicoli di supporto (nave, ROV)	Riduzione dei rischi e costi delle operazioni di osservazione e monitoraggio. Potenziale supporto alle attività di business locale (e.g. pesca)	7	Sì	Sì
<i>2) Sistema di monitoraggio e previsione delle emissioni navali dell'area portuale</i>	Sistema di calcolo basato su AI (per stima previsionale degli impatti a valle)	Calcolo delle emissioni navali e stima AI-based delle tendenze per diversi scenari portuali	Valutazione puntuale e previsionale dell'impronta ecologica (inquinamento atmosferico, acustico in aria e sottomarino) dei trasporti navali	Contributo alla pianificazione e gestione efficiente e ottimale dei traffici navali (ingressi, uscite e rifornimenti sostenibili)	Sviluppo di metodologie e strumenti basati sull'AI	Sì	Ammissibile
<i>3) Tecnologie di intelligenza artificiale per il monitoraggio dei segnali acustici e</i>	Tecnologia basata sull'AI	Mappatura e monitoraggio delle fonti di inquinamento	Riduzione dei rischi sanitari associati all'inquinamento acustico	Riduzione dei costi sanitari associati	Sistema AI basato su	Sì	Sì

TECNOLOGIA	TIPOLOGIA	OBIETTIVO	IMPATTO SOCIO-ECOLOGICO	IMPATTO ECONOMICO	TRL	REPLICABILITA'	SCALABILITA'
<i>della percezione acustica della popolazione dell'entroterra portuale e dei lavoratori portuali</i>		acustico con valutazione integrata delle percezioni degli attori portuali e delle zone limitrofe		all'inquinamento acustico	sensori acustici da integrare ad info soggettive		
4) Ispezione subacquea automatizzata delle incrostazioni sullo scafo delle navi	Dispositivo a mobilità autonoma integrato con AI	Ispezione e monitoraggio quantitativo e qualitativo dei rivestimenti biologici (macro-fouling) dello scafo delle navi	Lotta alla diffusione di specie aliene invasive Miglioramento dell'impatto climatico delle navi in movimento Minimizzazione dell'intervento umano nelle operazioni di gestione dell'ispezione LCA in corso	Riduzione dei costi associati all'ispezione subacquea e alla sostituzione di scafi deteriorati Riduzione dei costi associati al consumo di carburante	Da 6 a 7	Sì	Sì
5) Strumenti di intelligenza artificiale per valutare il consumo energetico e le emissioni da trasporto nelle aree portuali	Strumento di valutazione degli impatti e degli scenari ambientali	Valutazione di scenari di consumo energetico e di emissioni derivanti da trasporti terrestri (camion) e marittimi (navi	Monitoraggio dell'evoluzione delle emissioni e dei consumi energetici in area portuale	Contributo alla pianificazione e gestione efficiente e ottimale delle attività di trasporto marittimo e della	Da 6 a 9 per stime presenti; Da 6 a 8 per stime scenari futuri	Sì Genova Vado La Spezia	Sì

TECNOLOGIA	TIPOLOGIA	OBIETTIVO	IMPATTO SOCIO-ECOLOGICO	IMPATTO ECONOMICO	TRL	REPLICABILITA'	SCALABILITA'
6) Robotica e sistemi autonomi e processi per la gestione di un'efficace pulizia in acqua dello scafo e del relativo inquinamento chimico e biologico	Pulizia biologica	commerciali e passeggeri) in area portuale Rimozione e raccolta di macro-fouling e composti di rivestimento antivegetativi, evitando la diffusione di possibili specie esotiche e contaminanti	Lotta alla diffusione di possibili specie esotiche e contaminanti LCA in corso	logistica in area portuale Riduzione dei costi derivanti dall'alterazione degli equilibri ecosistemici locali per le attività economiche ad essi strettamente legate (pesca, turismo)	Da 6 a 7	Sì	Sì
7) Robot sociali nelle aree marine e portuali	Interazione uomo-robot	Interpretazione dei bisogni umani e dello stato umano per migliorare l'interazione con il gruppo di lavoratori e individui nelle aree portuali e marittime	Supporto alle attività portuali (es. compilazione survey di customer satisfaction) e miglioramento dell'esperienza portuale per scopi turistici (es. in forma di guida museale)	Potenziale crescita dei volumi turistici grazie alla presenza robotica	Test, validazione e dimostrazione delle tecnologie robotiche	Da valutare	Da valutare
8) Sistema AI di telecamere distribuite per il porto	Tracciamento persone	Monitoraggio persone circolanti in area portuale	Supporto alle attività portuali sulla base delle caratteristiche (fisiche,	Miglioramento degli interventi manageriali a supporto delle attività/persone	Sistema di telecamere integrato con AI	Da valutare	Da valutare

TECNOLOGIA	TIPOLOGIA	OBIETTIVO	IMPATTO SOCIO-ECOLOGICO	IMPATTO ECONOMICO	TRL	REPLICABILITA'	SCALABILITA'
<i>9) Piattaforma di servizio marittimo per supporto alle attività di diporto</i>	Salute e Sicurezza	Monitoraggio della salute e della sicurezza di specifiche utenze nelle aree marine e portuali	ergonomiche e disabilità) degli individui monitorati Supporto alla sicurezza e vivibilità delle aree portuali	in area portuale (applicazioni per lavoratori e turisti) Potenziale riduzione dei costi associati agli incidenti ed infortuni in area portuale	Nuova tecnologia interconnessa con i sistemi di posizionamento satellitare esistenti	Da valutare	Da valutare

Fonte: elaborazione propria.

Tabella 3. L'analisi SWOT delle tecnologie digitali e robotiche per la transizione e governance ambientale del porto di Genova

TECNOLOGIA	PUNTI DI FORZA	PUNTI DI DEBOLEZZA	CRITICITA'	OPPORTUNITA'
1) Monitoraggio AI della mega-fauna marina nell'ambiente portuale utilizzando dispositivi autonomi e intelligenti per l'acquisizione e l'elaborazione delle immagini	Tecnologia brevettata, <i>customizzabile</i> ed estendibile ad "osservatorio intelligente" Riduzione costi ed intervento umano	Eventuali limiti di autonomia e dell'ampiezza del raggio di azione	Esposizione al rischio di "fouling"	Possibilità di scale-up commerciale e multi-purpose (Oil&Gas, WindFarm, acquacoltura e AMP)
2) Sistema di monitoraggio e previsione delle emissioni navali dell'area portuale	"Context specific" (banchine occupate, tipologie di imbarcazioni e condizioni ambientali) e <i>multi-purpose</i> (inquinamento atmosferico, acustico sottomarino e propagazione aerea del rumore)	Difficoltà a reperire dati reali Stime degli impatti emissivi rilevate su navi "surrogato"	Suscettibilità a condizioni meteo estreme crescenti	Possibilità di interazione con stakeholders locali (es ARPAL) per integrare il sistema di supporto decisionale (SSD) basato su stime previsionali a livello portuale in modello di stima e governance ambientale della città-porto
3) Tecnologie di intelligenza artificiale per il monitoraggio dei segnali acustici e della percezione acustica della popolazione dell'entroterra portuale e dei lavoratori portuali	Integrazione fra dati linguistici (soggettivi) e dati acustici (oggettivi) Sensori utilizzati rappresentano tecnologia matura	Dati soggettivi suscettibili di "bias"	Dati oggettivi suscettibili a variabilità delle condizioni sperimentali	Possibile scale-up del sistema ad altri contesti (cittadini, industriali)
4) Ispezione subacquea automatizzata delle incrostazioni sullo scafo delle navi	Miglioramento efficienza e sostenibilità del trasporto marino Riduzione dell'intervento umano e relativi rischi e costi	Necessità di acquisire grandi quantità di immagini per formare database completo per il "training" dell'algorithm	Suscettibilità al fouling stesso dei dispositivi di acquisizione immagini	Possibilità di interazione e integrazione con altre tecnologie (1, 6) e applicativi/scale-up extra-portuali (es. militari, industriali)

TECNOLOGIA	PUNTI DI FORZA	PUNTI DI DEBOLEZZA	CRITICITA'	OPPORTUNITA'
5) Strumenti di intelligenza artificiale per valutare il consumo energetico e le emissioni da trasporto nelle aree portuali	Elaborazione “baseline scenario” e “scenari portuali per il 2030” basati sull’uso di differenti tecnologie per la produzione di energia. Uso di dati satellitari e terrestri sulle emissioni del trasporto navale e logistico	Contributo logistico della rete ferroviaria non considerato Costi per produrre energia elettrica e/o combustibili fossili e alternativi non considerati	Difficoltà a reperire dati aggiornati da alcuni stakeholders	Interazione e/o integrazione con tecnologia due per la configurazione di un SSD per la governance ambientale della città-porto
6) Robotica e sistemi autonomi e processi per la gestione di un’efficace pulizia in acqua dello scafo e del relativo inquinamento chimico e biologico	Pulizia di micro e macro-fouling con cattura degli sfridi macro, attenzione a non danneggiare rivestimenti anti-fouling	Eventuali limiti nell’autonomia del dispositivo	Suscettibilità del dispositivo stesso a fenomeni di fouling	Integrazione con altre tecnologie del progetto, es tecnologia 1 e 4
7) Robot sociali nelle aree marine e portuali	Tecnologia robotica “matura” e adattabile a differenti contesti tramite sviluppo di nuove “ontologie” di interazione/conversazione	Eventuali limiti e/o differenze nell’interazione uomo-robot	Mancanza di interesse e/o fiducia nei robot nei contesti portuali più dinamici	Utilizzo dei robot per scopi di <i>compliance</i> e <i>nudging</i> con risvolti turistico-ambientali
8) Tecnologie mobili sensorizzate per le persone nel porto e nel turismo	Tecnologia “wearable” basata su sensori che registrano informazioni su movimenti meccanici degli individui che la indossano	Vulnerabilità a guasti, urti, incidenti	Limiti di accettabilità sociale, percezione rischio di controllo individuale	Applicazione in ambito lavorativo per soggetti a rischio infortunio e nell’ambito turistico per soggetti fragili (anziani, disabili)
9) Piattaforma di servizio marittimo per supporto alle attività di diporto	Sistema di messaggistica a supporto dei naviganti basato su gateway con rete AIS e interfaccia utente su terminali mobili	Complessità della piattaforma	Conoscenza/accettabilità della tecnologia	Utilizzo della rete internet veloce di Starlink per ampliamento dei servizi a supporto delle attività di diporto

Fonte: elaborazione propria.

Tabella 4. La sintesi dei risultati dell'analisi tecnologica e dell'analisi SWOT

CATEGORIA TECNOLOGICA	PECULIARITA'	PROSPETTIVE
1) Strumenti innovativi per il monitoraggio ambientale	<ul style="list-style-type: none"> • utilizzo o integrazione dell'intelligenza artificiale; • valutazione puntuale e/o prospettica della situazione ambientale dell'area portuale in relazione agli impatti antropici; • ottimo TRL di partenza che predispone le soluzioni alla replica in altri contesti portuali ed allo scale-up 	<p>Applicazioni per monitoraggio “multi-purpose” e “context-adaptive” con fini pubblici e/o commerciali</p>
2) Soluzioni digitali orientate alla sostenibilità ambientale	<ul style="list-style-type: none"> • integrazione di tecnologie robotiche con soluzioni di AI; • produzione di osservazioni, stime e interventi ambientali più precisi e sicuri; • buon TRL di partenza che crea un ottimo presupposto per la replicabilità e diffusione 	<p>Applicazioni per il miglioramento della sostenibilità e della governance ambientale in area portuale tramite azioni specifiche (pulizia navale) o contributi indiretti (fornitura dati e stime utili per la pianificazione delle attività portuali);</p>
3) Dispositivi intelligenti utilizzati per accrescere la vivibilità e la sicurezza in ambito portuale	<ul style="list-style-type: none"> • utilizzo di soluzioni robotiche integrate con modelli di AI e di sensori evoluti; • miglioramento della vivibilità e della sicurezza di chi opera, sosta o transita per ragioni professionali, turistico-ricreative e di trasporto (imbarco/sbarco) nelle aree portuali tenendo conto delle specifiche esigenze anagrafiche, fisiche, ergonomiche e di disabilità; • moderato TRL iniziale che non preclude la possibilità di replica e scalabilità nel futuro 	<p>Applicazioni per il miglioramento della fruibilità, vivibilità e sicurezza dei porti, soprattutto quando cresceranno la conoscenza e l'accettabilità di queste tecnologie</p>