

Dai robot ai servizi innovativi: SWAMP ASV e un nuovo paradigma per la robotica marina al CNR

di Roberta Ferretti



Il gruppo di robotica marina del CNR INM di Genova ha esperienza pluridecennale nello sviluppo di piattaforme autonome altamente modulari e riconfigurabili che permettono l'accesso e il monitoraggio in ambienti critici. L'importanza dei dati raccolti da queste piattaforme, inclusa la loro gestione in ottica FAIR, è cruciale per la ricerca e la salvaguardia dell'ambiente marino a livello globale.

SWAMP - una nuova piattaforma autonoma per la robotica marina

Il modo in cui si studia ed esplora l'ambiente marino è stato completamente trasformato dai dispositivi robotici autonomi. Queste piattaforme, che includono veicoli autonomi sottomarini (AUV) e di superficie (ASV), possono operare in luoghi pericolosi e inaccessibili dove le tecniche di raccolta dati convenzionali sono spesso inefficaci o inutilizzabili e attualmente sono una tecnologia sempre più consolidata. Sebbene l'uso di nuovi materiali, la progettazione di scafi e di sistemi di propulsione alternativi e l'implementazione di sistemi di controllo innovativi stiano ancora stimolando la ricerca, questo settore presenta numerosi esempi di applicazioni

che vanno dall'osservazione al monitoraggio ambientale, dalle applicazioni nell'industria oil & gas alla mappatura dei fondali oceanici, dallo studio degli ecosistemi influenzati dai cambiamenti climatici all'intervento in caso di eventi estremi.

Oltre a studiare il comportamento e la distribuzione delle specie marine, gli scienziati e i ricercatori sono impegnati nella raccolta di dati ad alta risoluzione su vari aspetti legati all'oceanografia, come la temperatura, la salinità, l'ossigeno disciolto e il contenuto di clorofilla, che permettono di capire le dinamiche delle masse d'acqua e i fenomeni biologici che in esse sono presenti. Inoltre, le piattaforme autonome sono dotate di una varietà di sistemi di imaging e sensori che consentono di mappare e monitorare il fondo marino, la colonna d'acqua e anche lo strato superficiale di interfaccia con l'atmosfera in grande dettaglio. Lo studio dei complessi legami tra gli elementi fisici, chimici e biologici dell'ambiente marino può essere portato avanti solo grazie alla disponibilità di dati ad alta risoluzione, essenziali per comprendere i fenomeni in atto e, possibilmente, ridurre al minimo gli effetti dei cambiamenti climatici, dell'acidificazione degli oceani e di altri fattori di stress di natura antropogenica. Nel complesso, l'utilizzo di piattaforme robotiche autonome ha creato nuove vie per l'esplorazione e la ricerca marina,

permettendo una miglior comprensione e salvaguardia delle acque a livello globale.

In questo contesto, il gruppo di robotica marina del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ingegneria del Mare di Genova, ha maturato un'esperienza pluridecennale nel design e costruzione di veicoli autonomi di superficie e sottomarini, nello sviluppo di algoritmi di guida, navigazione e controllo e nell'integrazione di diverse tipologie di sensori e strumenti in base agli specifici scenari operativi. Il gruppo, inoltre, ha una forte esperienza di attività sperimentali nell'uso di questi veicoli autonomi, soprattutto in ambienti estremi, come ad esempio le operazioni in ambiti polari. La linea di ricerca del CNR INM di Genova, negli ultimi anni, si è focalizzata in particolare sullo sviluppo di piattaforme autonome che siano in grado di rispondere alla crescente necessità di accedere e monitorare acque estremamente basse, difficilmente raggiungibili con mezzi tradizionali. Si è giunti così alla progettazione, realizzazione e utilizzo del veicolo robotico di superficie SWAMP (Shallow Water Autonomous Multipurpose Platform), un innovativo catamarano ASV (Autonomous Surface Vehicle) altamente modulare, portatile, riconfigurabile e manovrabile (Odetti, 2020). SWAMP è caratterizzato da



Fig. 1 – Il veicolo robotico di superficie SWAMP (Shallow Water Autonomous Multipurpose Platform) sviluppato dal CNR INM, sede di Genova.

dimensioni ridotte, basso pescaggio, nuovi materiali, sistema di propulsione elettrico azimutale per acque poco profonde e architettura hardware e software modulare basata su WiFi. La sua forma di catamarano con doppio scafo (Fig. 1) fornisce una maggiore stabilità, un pescaggio minore con un carico utile maggiore e offre la possibilità di manovre in spazi ristretti e acque poco profonde grazie alla presenza di propulsori incorporati all'interno di ogni scafo. La modularità, insieme alla riconfigurabilità, sono stati i principali driver per la concezione di questo tipo di

struttura. Ogni scafo è composto da varie sezioni trasversali di schiuma leggera il cui numero o forma possono essere modificate, variando così la geometria dello scafo stesso per aumentarne il volume e ridurne l'immersione o per aumentarne la stabilità, in base alle esigenze operative. Un'altra caratteristica fondamentale di questa piattaforma robotica è la possibilità di disporre di un'ampia area utile infra-scafi per poter ospitare diversi pacchetti di sensori, a seconda della specifica operazione o missione da compiere.

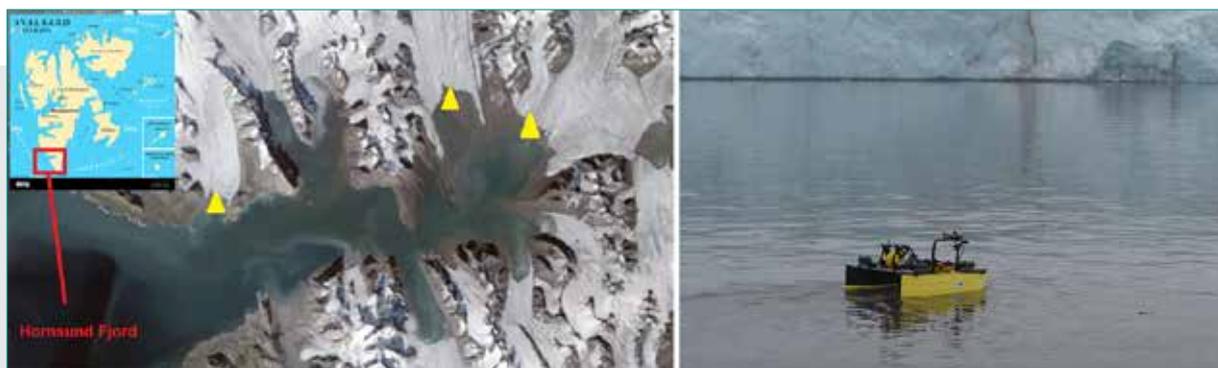


Fig. 2 – Sulla sinistra è visibile la mappa del fiordo Hornsund (Spitsbergen, Svalbard) con i triangoli gialli ad identificare i tre ghiacciai oggetto di indagine. Sulla destra è visibile il veicolo robotico di superficie SWAMP durante l'esecuzione dei campionamenti nei pressi di un ghiacciaio.



Fig. 3 – Il veicolo robotico SWAMP durante l'esecuzione di acquisizioni batimetriche in una zona impervia del corso del fiume Roja, località Airole (Liguria).

Dalla ricerca robotica ai servizi innovativi

SWAMP è stato ideato per effettuare ricerche in ambienti critici. La criticità dell'ambiente si può declinare in diverse sfumature, che vanno da aree difficili da raggiungere, aree con forti vincoli sulla logistica, aree caratterizzate da acque poco profonde o aree che possono presentare rischi per gli operatori. Tra i diversi esempi di applicazioni di SWAMP in aree critiche, in questo articolo, ci si focalizza su una recente campagna di acquisizione dati risalente alla scorsa estate (Luglio/Agosto 2022) nell'ambito della quale SWAMP è stato utilizzato come piattaforma robotica a supporto delle attività previste nel progetto Reload (Quantification of heavy metal discharge with freshwater runoff to an Arctic fjord ecosystem, Hornsund, Spitsbergen), promosso e guidato dall'Istituto di oceanologia dell'Accademia polacca delle scienze (Institute of Oceanology of the Polish Academy of Sciences - IO PAN) e inquadrato all'interno delle aziende che a livello globale vengono messe in atto per studiare, e potenzialmente contrastare, i cambiamenti climatici che, soprattutto nelle aree artiche, hanno effetti devastanti sull'ambiente e sui relativi ecosistemi. Lo scopo del progetto è, tra gli altri, la raccolta di campioni di acqua vicino al fronte dei ghiacciai, volta a quantificare la presenza di metalli pesanti

derivanti dallo scioglimento dei ghiacci. I campionamenti si sono svolti nel fiordo Hornsund, alle Svalbard, vicino al fronte di tre ghiacciai (Fig. 2). I fenomeni che avvengono vicino al fronte dei ghiacciai sono particolarmente importanti dal punto di vista scientifico, tuttavia, ci sono pochi dati a disposizione per poter comprendere a fondo i processi in atto. La mancanza di dati è spiegata dal fatto che gli ambienti sono particolarmente critici e pericolosi per l'uomo: a causa dell'innalzamento globale della temperatura, i ghiacciai sono costantemente interessati da un'intensa attività di distacco di enormi blocchi di ghiaccio (la cui altezza può superare le decine di metri) dal fronte del ghiacciaio stesso che, finendo in mare, generano onde potenzialmente pericolose o letali per operatori umani a bordo di imbarcazioni. Per questo motivo è in vigore il divieto di navigazione a distanza inferiore a 200 metri dal fronte dei ghiacciai. L'uso di sistemi robotici autonomi è di fondamentale importanza perché consente l'accesso alle zone interdette all'uomo, aprendo la strada a nuove prospettive e una maggiore comprensione dei processi legati allo scioglimento dei ghiacciai grazie alla possibilità di raccogliere dati non altrimenti ottenibili, con risoluzioni spaziotemporali uniche e garantendo al tempo stesso l'incolumità degli operatori umani. Durante questa campagna speri-

mentale è stato possibile studiare da vicino l'immissione di acqua dolce proveniente dallo scioglimento dei ghiacciai all'interno dell'acqua del fiordo, fenomeno che può portare a numerose ricadute, spesso non prevedibili, sugli ecosistemi di quelle aree di transizione (Ferretti, 2023). L'impiego di piattaforme robotiche come SWAMP ha permesso di osservare questi fenomeni con precisione e ripetibilità, garantendo la sicurezza degli operatori e permettendo l'integrazione con i dati che vengono acquisiti con le metodologie classiche di campionamento (mooring, calate CTD da nave oceanografica e dati satellitari). Oltre che per attività di ricerca, SWAMP è ampiamente impiegato come abilitatore tecnologico di servizi innovativi in contesti operativi caratterizzati da criticità di diversa natura. In questo articolo viene riportato un esempio d'uso di SWAMP per effettuare batimetrie lungo il corso di un fiume. La campagna batimetrica è stata condotta nell'area della Liguria occidentale, non lontano dal confine tra Italia e Francia, dove scorre il fiume Roja. La sua sorgente si trova nelle Alpi Liguri e scorre verso sud sfociando nel mare Ligure nell'area della città di Ventimiglia. Due aree di interesse sono state oggetto di indagine: la foce del fiume e un'area più a monte (Località Airole). In questo caso la criticità dell'ambiente era legata alle acque estrema-

mente basse nella zona della foce (da poche decine di centimetri a 4 metri circa), e ai notevoli vincoli sulla logistica nella zona a monte (l'area è accessibile solo attraverso un piccolo sentiero che attraversa il bosco). Le ridotte dimensioni, il pescaggio limitato, il peso ridotto e la struttura modulare di SWAMP hanno reso possibile un facile trasporto e utilizzo ad un gruppo di soli tre operatori (Fig. 3), permettendo così di portare a termine la campagna sperimentale di acquisizione dei dati nelle due zone di interesse il cui scopo era la raccolta di dati di profondità con un sonar a fascio singolo e l'integrazione del dato acustico con un sistema di posizionamento ad alta precisione per ottenere una mappa batimetrica del letto del fiume Roja. Il lavoro è stato commissionato dalle istituzioni regionali per valutare lo stato del fiume, nonché per stimare la sua capacità in caso di piogge intense al fine di prevenire allagamenti (Bibuli, 2021).

Un altro esempio di uso di SWAMP per fornire servizi tecnologici innovativi per il monitoraggio ambientale è attualmente in corso nella laguna di Venezia nell'ambito del progetto Interreg IT-HR InnovaMare. Il progetto, guidato dalla Camera di Commercio Croata, riunisce attori chiave per lo sviluppo di tecnologie innovative al servizio della sostenibilità ambientale,

migliorando la cooperazione transfrontaliera e aumentando l'efficacia dell'innovazione nel campo della robotica marina, sviluppando una soluzione per l'accesso e il monitoraggio di acque estremamente basse attraverso veicoli robotici portatili, modulari, riconfigurabili e altamente manovrabili. In questo contesto, il veicolo SWAMP, grazie alle sue caratteristiche, è stato equipaggiato con diversi kit strumentali e sensoriali per eseguire azioni strategiche nel monitoraggio ambientale della Laguna di Venezia (Odetti, 2021).

Le foto (Fig. 4) mostrano due diverse configurazioni di SWAMP durante la fase di test sperimentali: a sinistra è possibile vedere l'allestimento di SWAMP per ospitare un multibeam Echosounder (MBES R2 Sonic 2020 I2NS), soluzione integrata che comprende l'ecoscandaglio multifascio a banda larga, un'unità di misura inerziale (IMU), una sonda di velocità del suono di Valeport, due antenne GNSS con correzioni RTK, e il modulo di interfaccia Sonar. Questo sistema, integrato con la piattaforma robotica, può essere utilizzato per diversi scopi che vanno dalla realizzazione di mappe batimetriche alla mappatura della distribuzione dell'habitat al monitoraggio di diversi tipi di impatti antropici e di inquinamento nella colonna d'acqua e nei fondali marini del-

la zona lagunare.

A destra, invece, si vede SWAMP che è stato riconfigurato per ospitare una coppia di sensori dedicati alla qualità e alle caratteristiche ottiche dell'acqua. Il primo è un analizzatore di nutrienti (SUNA V2 - Submersible Ultraviolet Nitrate Analyzer prodotto da Sea-Bird Scientific), strumento per il monitoraggio dei nutrienti in tempo reale. Il sensore misura la concentrazione di ioni nitrato in acqua e può fornire preziose informazioni sulla presenza e crescita del fitoplancton e sulle sue variazioni spazio-temporali. Il secondo è un analizzatore di spettro (ROX - Reflectance Box prodotto da JB Hyperspectral Devices GmbH) per l'acquisizione di dati di riflettanza superficiale. Tali dati possono essere utilizzati per comprendere la dinamica temporale delle proprietà ottiche di diversi tipi di acqua e della torbidità derivata dalla riflettanza, per mappare la vegetazione sommersa e per ricavare la profondità dell'acqua in acque otticamente poco profonde. Questi dati, oltre all'analisi in situ, servono per produrre dati di riferimento per la validazione dei dati satellitari (ad es. immagini iperspettrali di Sentinel-2).

Il nuovo paradigma: la centralità del dato

Il passaggio dalla pura ricerca in ambito robotico ad un approc-

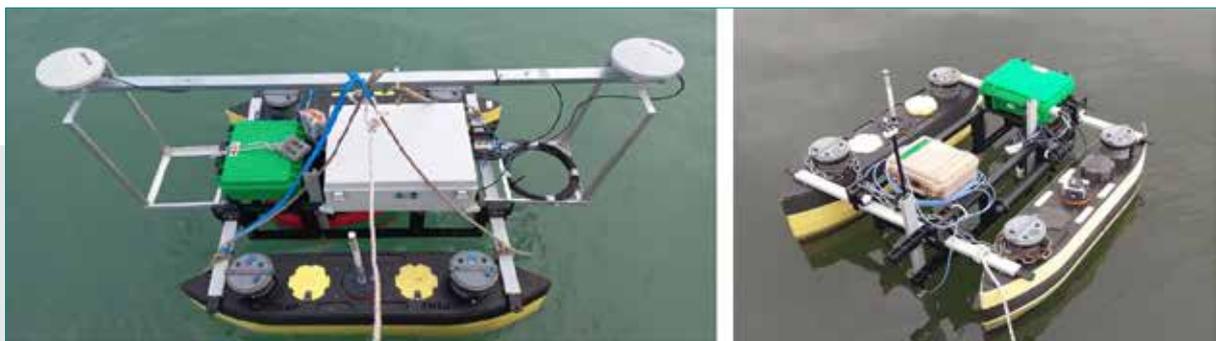


Fig. 4 – Il veicolo SWAMP in due diverse configurazioni (Multibeam echosounder a sinistra e sensori ROX e SUNA a destra) per la realizzazione del monitoraggio multisensoriale della laguna di Venezia nell'ambito del progetto Interreg IT HR InnovaMare (<https://www.italy-croatia.eu/web/innovamare>).

cio “service-oriented” che prevede l’utilizzo delle piattaforme robotiche come tecnologie abilitanti per fornire servizi innovativi a potenziali stakeholders, siano essi altri gruppi di ricerca, piccole e medie imprese, o membri della società civile e delle amministrazioni locali, introduce un nuovo paradigma che pone al centro il dato. In questo contesto, dove i confini tra le diverse discipline sono sempre più labili, dove i gruppi di lavoro e di ricerca, come quello del CNR INM, sono sempre più eterogenei con esperti in robotica, fisica, ingegneria navale, oceanografia, dove vi è una crescente importanza delle attività di divulgazione e comunicazione, nonché della “citizen science” durante tutto il processo di ricerca e sviluppo tecnologico, occorre fare un cambio di prospettiva che guarda alla centralità del dato, elemento cardine di tutte le attività di ricerca, sul quale è possibile sviluppare nuovi servizi innovativi e prodotto di interesse per l’utente finale, destinatario del servizio stesso. Il dato diventa quindi il focus centrale attorno al quale da un lato si sviluppano le piattaforme robotiche, adattandole alle eventuali limitazioni o criticità ambientali in cui si troveranno ad operare, e dall’altro si definiscono le metodologie e le procedure di acquisizione, gestione e trattamento per ottenere dati che siano unici dal punto di vista dell’affidabilità, riproducibilità e risoluzione. La tematica dei dati, specialmente in questo contesto di piattaforme robotiche non standard, abbraccia sia i dati ambientali, cioè acquisiti mediante i sensori montati a bordo della piattaforma (profili di temperatura, morfologia del fondale marino, dati di conducibilità e temperatura per fare alcuni esempi), sia i dati robotici, cioè legati al comporta-

mento e alla prestazione del veicolo stesso, alla sua navigazione e controllo (ad esempio livello della batteria, temperatura interna, velocità dei motori o andamento del rollio e dell’imbardata).

Acquisire, gestire, analizzare e conservare entrambe queste due macrocategorie (dati ambientali e robotici) permette di arricchire il valore del dato stesso grazie alla loro ambivalenza: da un lato è possibile fare un controllo di qualità sui dati ambientali utilizzando le informazioni ricavabili dai dati robotici circa il comportamento della piattaforma in fase di acquisizione. Nel contempo, però, la conoscenza delle condizioni ambientali durante l’acquisizione dei dati può essere utilizzata per comprendere a fondo i comportamenti della piattaforma stessa ed, eventualmente, indurre sviluppi tecnologici al fine di rispondere in maniera efficace all’insorgere di guasti che si possono verificare in determinate condizioni di lavoro critiche o, ad esempio, permettere di modificare il comportamento degli algoritmi di guida e controllo in base alle condizioni marine e ambientali durante il funzionamento del robot, realizzando così metodologie di campionamento adattivo e aumentando la “situational awareness” della piattaforma robotica.

Per raggiungere una gestione efficace dei dati e poter generare valore dal loro uso e riutilizzo, è necessario affrontare numerose questioni che sono tuttora aperte, soprattutto per quel che riguarda i dati robotici. Sui dati ambientali già molto è stato fatto dal punto di vista della standardizzazione in quanto sono dati che hanno una tradizione storicamente più lunga. Si tratta quindi di partire da quanto è già presente per la parte ambientale e adattare le buone pratiche al caso specifico dei dati robotici.

Le buone pratiche a cui si fa riferimento sono, ad esempio, i principi FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) (Wilkinson, 2016), per la gestione e la condivisione dei dati scientifici in modo che siano facilmente individuabili, accessibili, interoperabili e riutilizzabili da parte di chiunque ne abbia interesse o bisogno. L’implementazione pratica dei principi FAIR riconosce un ruolo fondamentale ai metadati. I metadati sono “dati che descrivono i dati”, cioè informazioni che forniscono dettagli importanti sui dati stessi. In una gestione FAIR dei dati scientifici, siano essi ambientali o robotici, il ruolo dei metadati è quello di garantire che i dati siano ben descritti, organizzati e facilmente trovabili, permettendo di comprendere rapidamente l’oggetto del set di dati e le modalità di accesso. Inoltre, i metadati ne facilitano la scoperta, semplificando il processo di integrazione e interoperabilità con altri dati. Infine, i metadati garantiscono la conservazione e il riutilizzo dei dati, puntando a rafforzare la diffusione della scienza aperta.

Con la crescente diffusione delle applicazioni di robotica marina e del numero di gruppi di ricerca che raccolgono grandi quantità di dati, l’implementazione dei principi FAIR diventa di fondamentale importanza, specialmente per dati e metadati robotici (Aracri, 2022). L’implementazione dei principi FAIR nella gestione di questi dati consentirà una maggiore accessibilità e condivisione tra gli esperti, migliorando la cooperazione e la collaborazione nel campo della robotica marina, contribuendo a migliorare la sicurezza delle missioni, e a garantire una maggiore precisione e affidabilità dei dati e dei risultati.

Il gruppo di ricerca del CNR

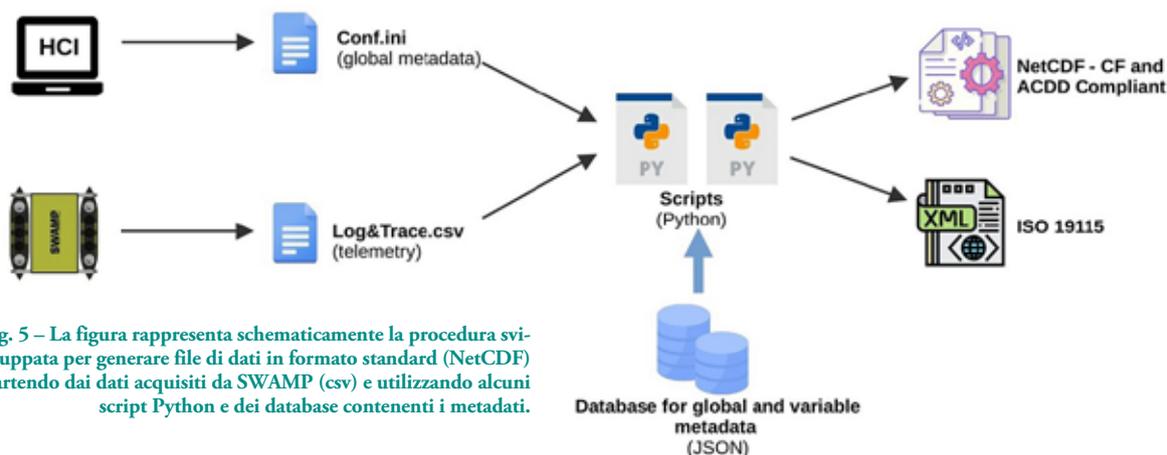


Fig. 5 – La figura rappresenta schematicamente la procedura sviluppata per generare file di dati in formato standard (NetCDF) partendo dai dati acquisiti da SWAMP (csv) e utilizzando alcuni script Python e dei database contenenti i metadati.

INM è al lavoro per dare un contributo significativo a questa tematica, partendo dalla questione dei metadati. Attualmente si sta lavorando per identificare i nomi e gli attributi corretti per le variabili robotiche e ambientali seguendo, quando possibile, gli standard esistenti. Tali attributi sono tratti dalle convenzioni ACDD (Attribute for Climate and Data Discovery) per i metadati globali e CF (Climate and Forecast) per quelli relativi alle variabili (ambientali e robotiche, ove presenti). Lo scopo di tale lavoro è la definizione di un insieme minimo di metadati globali e di quelli relativi alle grandezze acquisite (definite in gergo "variabili" ambientali e robotiche) che siano necessari e sufficienti per descrivere chiaramente i dati della robotica marina, consentendo la loro scoperta e l'utilizzo da parte di potenziali stakeholder, cercando di evitarne un "cattivo uso" dovuto a incomprensioni o a mancanza di informazioni. Parallelamente al lavoro sui metadati, si è cominciato anche a lavorare su una prima bozza di definizione di un vocabolario condiviso per i nomi da attribuire alle variabili della robotica marina. Alcune variabili sono già presenti nella convenzione CF ma per altre variabili, specificatamente robotiche, non è presente un nome standard.

Per attribuire nomi standard a queste variabili, si è mutuata la nomenclatura comunemente utilizzata nella comunità della robotica marina, vale a dire dalla terminologia introdotta da Fossen (1999) nel suo libro sui sistemi di controllo per i veicoli marini. Il passo successivo sarà quello di ampliare la discussione con la comunità robotica internazionale per cercare di raggiungere una standardizzazione della nomenclatura anche nel campo delle variabili robotiche.

Prospettive future

Lo scopo del lavoro sulla gestione FAIR dei dati, sia robotici sia ambientali, che il gruppo di ricerca del CNR INM sta sviluppando è ottenere una piattaforma robotica dotata di un'architettura per l'acquisizione dei dati che produca dati "FAIR by default". Con questa ambiziosa definizione ci si riferisce alla pratica di garantire che i dati raccolti dai robot marini autonomi siano FAIR per progettazione, cioè che le procedure per l'acquisizione, la gestione e la condivisione dei dati siano integrate nella progettazione e nel funzionamento dei robot fin dall'inizio, piuttosto che essere un traguardo raggiunto in una fase successiva, con notevoli sforzi di post-processing. Raggiungere questo sfidante obiettivo impli-

ca molto lavoro svolto ex-ante, quando si inizia a progettare una campagna di acquisizione dati, e continua per tutto il ciclo di vita dei dati stessi. Per questo motivo è fondamentale avere un piano strutturato di gestione dei dati. Allo stato attuale, il gruppo di ricerca del CNR INM ha ideato e testato un primo esempio di procedura (Fig. 5), il più possibile automatizzata, per fare in modo che alla fine di una campagna sperimentale si possa con pochi e semplici passaggi ottenere dati grezzi che siano ad un alto livello di fairness, potenzialmente già pubblicabili in formato standard, e con tutti i metadati necessari per comprenderli e eventualmente riusarli (Motta, 2023). Le prospettive future nell'ambito della robotica marina devono necessariamente considerare l'aspetto legato alla trattazione FAIR dei dati. L'uso delle piattaforme robotiche come abilitatori tecnologici di servizi innovativi sta portando alla raccolta di grandi quantità di dati, che richiedono una gestione efficiente per poter essere utilizzati al meglio. Riconoscere la centralità del dato mediante l'implementazione dei principi FAIR consente di facilitare l'archiviazione e la conservazione storica, la condivisione e il riuso di questi dati, aumentando sia il loro valore scientifico sia la capacità di svi-

luppo di politiche di gestione più sostenibili per l'ambiente marino, fondamentali per la salute del pianeta e dell'umanità. La creazione di standard e infrastrutture comuni per la gestione dei dati, basati sui principi FAIR, consentirà di integrare i dati provenienti da differenti fonti, anche non standard, rendendoli disponibili ad un pubblico più ampio di ricercatori, amministratori e cittadini. Inoltre, la robotica marina ha intrapreso un processo di miglioramento continuo e costante, grazie all'integrazione di sensori sempre più precisi e alla capacità dei robot di lavorare in modo cooperativo. Con questa nuova prospettiva, è così possibile contribuire in maniera fattiva e significativa allo sforzo globale di osservazione degli oceani, sostenuto e patrocinato anche dalle Nazioni Unite con il Decennio delle scienze oceaniche per lo sviluppo sostenibile (2021-2030), fondamentale per la salvaguardia dell'intero pianeta.

Ringraziamenti

L'autore sentitamente ringrazia tutti i colleghi del gruppo di robotica marina del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ingegneria del Mare (CNR-INM) di Genova. Il prezioso lavoro di supporto e collaborazione è stato fondamentale per raggiungere gli importanti risultati descritti nel presente articolo.

BIBLIOGRAFIA

Aracri, S., Ferretti R., Motta C., Ferreira, F., Bibuli, De Pascalis F., Odetti, A., Bruzzone, G. and Caccia, M., OPEN SCIENCE IN MARINE ROBOTICS. In BOOK OF ABSTRACTS (p. 96).

Bibuli, M., Ferretti, R., Odetti, A., & Cosso, T. (2021, October). River Survey Evolution by means of Autonomous Surface Vehicles. In 2021 International Workshop on Metrology for the Sea; Learning to Measure Sea Health Parameters (MetroSea) (pp. 412-417). IEEE.

Ferretti, R., Aracri, S., Bibuli, M., Bruzzone, G., Bruzzone, G., Caccia, M., ... & Odetti, A. (2023). Application of a highly reconfigurable surface robotic platform for freshwater plume characterization and sampling near tidewater glacier front in Arctic critical environment (No. EGU23-5514). Copernicus Meetings.

Fossen, T.I., 1999. Guidance and control of ocean vehicles. University of Trondheim, Norway, Printed by John Wiley & Sons, Chichester, England, ISBN: 0 471 94113 1, Doctors Thesis.

InnovaMare, Project Interreg Italy - Croatia "InnovaMare -Developing innovative technologies for sustainability of Adriatic Sea" (ID: 10248782), <https://www.italy-croatia.eu/web/innovamare>, (Retrieved: 20.03.2023)

Motta C., Ferretti R., Aracri S., Welcome to FAIR data in marine robotics's documentation, <https://corradomotta.github.io/FAIR-Data-in-Marine-Robotics/html/index.html#overall-picture> (Retrieved: 20.03.2023).

Odetti, A., Braga, F., Brunetti, F., Caccia, M., Marini, S., Matricardo, F., ... & De Pascalis, F. (2021, April). Development of innovative monitoring technologies in the framework of InnovaMare Project. In EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EGU21-10131).

Odetti, A., Bruzzone, G., Altosole, M., Viviani, M., & Caccia, M. (2020). SWAMP, an Autonomous Surface Vehicle expressly designed for extremely shallow waters. *Ocean Engineering*, 216, 108205.

Wilkinson, M.D., Dumontier, M., Aalbersberg, I.J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., Blomberg, N., Boiten, J.W., da Silva Santos, L.B., Bourne, P.E. and Bouwman, J., 2016. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific data*, 3(1), pp.1-9.

PAROLE CHIAVE

ROBOTICA MARINA; AUV; ASV; MONITORAGGIO AMBIENTALE; SERVIZI INNOVATIVI; FAIR DATA

ABSTRACT

The article talks about the use of autonomous robotic platforms for the exploration and monitoring of critical marine environments. The National Research Council, Institute of Marine Engineering of Genoa, has developed a strong experience in this field and is moving towards a "service-oriented" approach for their use in different critical environments. In this context, the importance of environmental and robotic data is emphasized in the entire research and development process. Acquiring, managing, analyzing, and storing both the two macro categories of data in line with FAIR principles allows to enrich their value and contribute to the global effort to observe and protect the ocean.

AUTORE

ROBERTA FERRETTI
ROBERTA.FERRETTI@CNR.IT

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE –
ISTITUTO DI INGEGNERIA DEL MARE (CNR INM), GENOVA



GEO BUSINESS

THE GEOSPATIAL EVENT

ExCeL LONDON • UK

17 – 18 MAY 2023

Join us at the UK's
largest geospatial event

- ▶ Meet over 150 leading geospatial suppliers
- ▶ Get essential insights from 80+ expert speakers
- ▶ Connect with like-minded geospatial professionals

[GeoBusinessShow.com](https://www.GeoBusinessShow.com)

REGISTER NOW
FOR FREE



Exhibition • Keynote • Seminars • Showcases • Networking

Organised by

diversified
COMMUNICATIONS

In collaboration with

