



MISCELLANEA

INGV

Paperelle di gomma, bottiglie dei naufraghi e *marine litter*: strani ma utili *proxy* per lo studio delle correnti marine



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

73

Direttore Responsabile

Valeria DE PAOLA

Editorial Board

Milena MORETTI - Editor in Chief (editorinchief.collane-editoriali@ingv.it)

Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)

Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)

Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)

Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)

Luigi CUCCI (luigi.cucci@ingv.it)

Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)

Mauro DI VITO (mauro.divito@ingv.it)

Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)

Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)

Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)

Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)

Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi1@istruzione.it)

Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)

Segreteria di Redazione

Francesca DI STEFANO - Coordinatore

Rossella CELI

Robert MIGLIAZZA

Barbara ANGIONI

Massimiliano CASCONI

Patrizia PANTANI

Tel. +39 06 51860068

redazione@ingv.it

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale

di Geofisica e Vulcanologia

Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

MISCELLANEA

INGV

Paperelle di gomma, bottiglie dei naufraghi e *marine litter*: strani ma utili *proxy* per lo studio delle correnti marine

Marina Locritani¹, Silvia Merlino², Antonio Guarnieri³, Damiano Delrosso³, Marco Bianucci², Marco Paterni⁴

¹INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Roma 2

²CNR - ISMAR | Istituto di Scienze Marine, La Spezia

³INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna

⁴CNR - IFC | Istituto di Fisiologia Clinica, Pisa

Accettato 10 agosto 2022 | Accepted 10 August 2022

Come citare | How to cite Locritani M., Merlino S., Guarnieri A., Delrosso D., Bianucci M., Paterni M., (2023). Paperelle di gomma, bottiglie dei naufraghi e marine litter: strani ma utili proxy per lo studio delle correnti marine. Misc. INGV, 73: 1-28, <https://doi.org/10.13127/misc/73>

In copertina Momento del rilascio di alcuni MLT dal gommone del Gruppo Sommozzatori della Polizia di Stato della Spezia | Cover The moment of the release of some MLTs from a dinghy belonging to the La Spezia State Police Divers Group

INDICE

Introduzione	7
1. Il contesto scientifico e ambientale dei progetti avviati	8
2. I progetti ML-DAR e ML-CSA	9
2.1 Primi test e risultati del progetto ML-DAR	11
3. Il progetto ML-CSA ed il PCTO: <i>citizen science</i>, educazione e ricerca	17
4. <i>Proxy</i> storici e <i>proxy</i> inconsueti: il comune destino di santi martirizzati, messaggi in bottiglia e <i>marine litter</i>	19
5. Conclusioni	20
Ringraziamenti	21
Bibliografia	22

Introduzione

Cosa hanno in comune i cadaveri finiti in mare e le paperelle di gomma? Nulla, si direbbe, ma non è così. Infatti entrambi, come le ben più note “bottiglie del naufrago”, possono servire da “traccianti” per ricostruire quale fosse nel passato l’andamento delle correnti marine in particolari luoghi.

Negli ultimi decenni la quantità e precisione dei sistemi utilizzati per studiare gli spostamenti delle masse d’acqua, sia superficiali sia profondi è aumentata tantissimo. Sistemi come gli ARGO floats [Roemmich et al., 2009], i drifters di diverse tipologie [Niiler et al., 1995; Poulain and Zambianchi, 2007; Poulain et al., 2009; Subbarya et al., 2016; Centurioni, 2018], i gliders [Meyer, 2016] e altri tipi di strumenti di misura sia attivi sia passivi, permettono agli oceanografi di ottenere dati sulla temperatura, la salinità, le correnti e, recentemente, le proprietà biogeochimiche degli oceani, quali per esempio clorofilla, ossigeno, torbidità. Fino al 1960 circa, però, questa strumentazione sofisticata per la misura delle proprietà fisico-chimiche della colonna d’acqua e delle correnti marine, non era disponibile su scala globale. In sua assenza, i cosiddetti proxy, o indicatori indiretti, permettono di ricavare le informazioni necessarie.

Un caso eclatante di uso di proxy è stato reso possibile dello sversamento (gennaio 1992) di un enorme quantitativo di paperelle gialle di gomma nell’Oceano Pacifico (44.7°N, 178.1°E), in seguito alla caduta in mare, e conseguente ribaltamento, di portacontainer provenienti da Hong Kong e diretti a Tacoma, sulla costa occidentale degli USA. Un episodio che è stato descritto da scrittori, giornalisti e oceanografi [Davis, 2004; Carle, 2008; Ebbesmeyer, 2010; Hohn, 2011] e che - pur avendo provocato un disastro ambientale con l’immissione di tonnellate di plastica in mare - ha permesso però agli oceanografi di studiare l’andamento delle correnti superficiali in diverse zone oceaniche per le quali, all’epoca, non si avevano informazioni sicure, mancando i sistemi di misura dedicati [Ebbesmeyer and Ingraham, 1994; Ebbesmeyer et al., 2007].

Allo stesso modo, in molte zone, soprattutto costiere, le conoscenze locali (dirette o tramandate) dei venti stagionali e delle relative correnti, permettono di stimare la provenienza dei detriti spiaggiati durante le mareggiate, così come dei cadaveri dei naufraghi annegati. Nel caso particolare della zona del Mar Tirreno nord occidentale e Mar Ligure, la presenza di una corrente prevalente diretta verso Nord, la Corrente Ligure/Ligurian Current (d’ora in poi LC) [Astraldi et al., 1990; Picco et al., 2010; Iacono and Napolitano 2020] agisce da “nastro trasportatore”, che trascina per buona parte dell’anno le acque tirreniche delle zone più a Sud della nostra penisola verso il Mar Ligure e fino alle coste francesi [Poulain et al., 2012]. Tale corrente, infatti, sostiene in tutto il Mar Ligure una circolazione ciclonica che coinvolge le acque di origine atlantica (Atlantic Water - AW) in superficie e quelle levantine (Levantine Intermediate Water - LIW) a medie profondità. La portata della LC è imponente: può arrivare a circa 1,6 milioni di m³/sec, lo stesso ordine di grandezza della Corrente Atlantica che imbocca lo Stretto di Gibilterra. È un fiume d’acqua, largo circa 20 km e profondo circa 150 m, presente tutto l’anno, sia pure con variazioni di intensità, ed è una delle più importanti zone di upwelling¹ [Casella et al., 2011] del Mediterraneo.

Le correnti marine non coinvolgono solamente lo strato superficiale del mare (dove sono tipicamente guidate dall’azione del vento), ma anche gli strati più profondi (dove invece il forzante principale della circolazione è costituito da gradienti di temperatura e salinità), determinando il trasporto di nutrienti, sedimenti, oltre che flussi di sale e di calore.

Ma le correnti da sole non bastano a giustificare e comprendere il comportamento degli oggetti che si spostano sulla superficie del mare. Anche il ruolo dei venti è essenziale: da un lato attuano da forzanti diretti delle correnti; dall’altro agiscono direttamente sugli oggetti trasportati.

¹ *Upwelling*, o risalita delle acque profonde, è un fenomeno oceanografico che coinvolge il movimento di grandi masse di acqua fredda, densa e generalmente ricca di nutrienti, che risalgono verso la superficie dell’oceano dove vanno a rimpiazzare l’acqua superficiale più calda, pertanto meno densa e in generale ormai depauperata dei suoi nutrienti.

A ciò si aggiunge il fatto che, a seconda della sua forma, un oggetto può risentire in maniera più o meno marcata dei diversi fattori fino ad ora descritti. L'estrema complessità del sistema non permette di avere dati certi sulle traiettorie degli oggetti in mare, e quindi neanche sul loro conseguente accumulo in determinate zone. In questo contesto la modellistica numerica oceanografica può costituire un valido strumento per simulare e prevedere lo spostamento di oggetti sulla superficie marina. Inoltre, beneficiando dei dati disponibili, ossia di dati raccolti in situ (per esempio le traiettorie di oggetti rilasciati a mare, ma anche misure di vento e corrente) è possibile, attraverso un processo di calibrazione e validazione, ottenere un modello oceanografico sempre più attendibile.

Oltre all'interesse puramente conoscitivo di illustrare come avvengono lo spostamento e il trasporto di materiale in mare, i modelli oceanografici sono molto importanti anche per poter prevedere la dispersione di eventuali inquinanti in caso di fuoriuscite di greggio da petroliere (oil spill), oppure ribaltamenti di portacontainers, ecc. Un campo di ricerca molto importante è poi quello della identificazione o previsione delle zone di accumulo dei *Marine Litter* (d'ora in poi ML), ossia dei rifiuti antropogenici (per la maggior parte di plastica) che, una volta immessi nel mare, vengono trasportati dalle correnti e accumulati sia in particolari zone oceaniche sia su gran parte dei litorali di tutti i continenti, le zone polari comprese [Bergmann et al., 2017; Dąbrowska et al., 2021].

Keywords Rifiuti marini; Scienza partecipativa; PCTO | Marine litter; Citizen science

1. Il contesto scientifico ed ambientale dei progetti avviati

Lo studio del problema dei ML è aumentato molto negli ultimi anni, a partire dalla scoperta di grandi accumuli oceanici da parte di Cozar et al. [2014] e allo studio più dettagliato della loro concentrazione e tipologia [Cannizarro et al., 1995; Galgani et al., 1995; Cozar et al., 2015; Alomar et al., 2016; Suaria et al., 2016]. Inoltre, alcuni dei recenti progetti europei si sono concentrati sul monitoraggio dei ML a livello di bacino, *off-shore* e nelle aree portuali (rispettivamente Interreg Mediterranean - MEDSEALITTER e IT-FR *Marittime* - SPLasH!). Negli ultimi 9 anni, l'INGV, in collaborazione con ISMAR-CNR e con il supporto di altri *partner*, ha intrapreso un piano di monitoraggio nell'ambito del Progetto *SeaCleaner* [Merlino et al., 2015] (<https://sites.google.com/view/seacleaner/home-page>), focalizzato sul problema dei ML in una macro area compresa tra l'isola di Pianosa e le Cinque Terre [Giovacchini et al., 2018] all'interno del Santuario Pelagos.

Questa porzione di Mar Mediterraneo ospita un grande numero di cetacei, molti dei quali misticeti, quindi mammiferi filtratori, che risentono in modo particolare dell'elevata concentrazione di ML e più in particolare di microplastiche nelle acque del loro habitat [Fossi et al., 2012 e 2014; Suaria et al., 2014 e 2016]. Lo studio effettuato da *SeaCleaner* ha riscontrato una variabilità nella densità (numero di oggetti per chilometro quadrato) e nella tipologia di BML (*Beached Marine Litter*) in questa macroarea, ed ha evidenziato che le Aree Marine Protette - in particolare l'areale costiero del Parco di Migliarino, San Rossore e Massaciuccoli (Province di Pisa e Lucca) - hanno mostrato una densità di ML maggiore rispetto alle spiagge "urbane" o "urbanizzate" [Giovacchini et al., 2018]. Ciò è probabilmente dovuto alla mancanza di attività di pulizia regolari e costanti nelle prime, oltre al fatto che la vicinanza del Parco alla foce del fiume Arno contribuisce a garantire un continuo e costante flusso di materiale sul suo litorale. L'importanza del contributo dei fiumi all'apporto di ML in mare è infatti confermata da diversi

studi [Moore et al., 2011; Rech et al., 2014; Poeta et al., 2016; Lebreton et al., 2017; Emmerik and Schwarz, 2020]. Inoltre, il progetto *SeaCleaner* ha definito un protocollo operativo semplificato (derivato dalle indicazioni della MSFD - *Marine Strategy Framework Directives*) facilmente fruibile durante le attività di monitoraggio e classificazione effettuate con il coinvolgimento attivo di studenti e volontari, quindi in modalità *citizen science* [Merlino et al., 2015; Merlino, 2016]. Tale approccio, le sue ricadute educative e di sensibilizzazione ambientale, sono stati valutati sui volontari e/o sugli studenti che hanno partecipato alle attività attraverso un questionario predisposto ad hoc. L'analisi dei risultati dell'indagine sottolinea l'importanza del coinvolgimento dei cittadini e degli studenti in attività concrete che li mettano veramente di fronte (nel vero senso della parola!) al problema, indicando questo approccio come un metodo efficace per aumentare la consapevolezza sul problema dell'inquinamento da ML [Locritani et al., 2019]. In tempi recenti tali monitoraggi sono stati ulteriormente estesi affiancando al classico metodo manuale anche un innovativo protocollo coadiuvato da droni [Merlino et al., 2020]. Anche in questo caso la partecipazione di volontari e studenti si è dimostrata altamente utile nel provvedere un grande numero di dati, valutati utili ed affidabili [Merlino et al., 2021] al pari di quelli forniti da ricercatori ed esperti [Andriolo et al., 2021]. Grazie a ciò è stato possibile dimostrare che la *citizen science* può essere utilizzata anche in questo settore, con notevoli vantaggi sia per la catalogazione, conteggio e riconoscimento dei ML, sia per lo studio dei processi dinamici che ne determinano i processi di accumulo sulle spiagge.

Tali premesse ci hanno incoraggiato a estendere le ricerche intraprese, nell'ambito del Progetto *SeaCleaner* sin dal 2013, all'interno del Parco Regionale di Migliarino, San Rossore e Massaciuccoli, avviando ulteriori indagini, che contemplino lo studio dei processi di dispersione dei ML, a partire dal loro rilascio in mare alla foce dell'Arno fino a seguirne l'andamento in mare aperto e quindi l'eventuale spiaggiamento. Ciò è stato possibile con il progetto **ML-DAR**: "A multidisciplinary method to study the Marine Litter Dispersion from the Arno River mouth: a study case supported by citizen science" e successivamente con il progetto **ML-CSA**: "Study the Marine Litter dispersion: Citizen Science Application case", entrambi finanziati dall'INGV. Questi progetti contribuiscono alla richiesta della Direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino (2008/56/CE) MSFD [Galgani et al., 2010; 2013; 2014] di rafforzare gli studi di monitoraggio e la consapevolezza individuale sul problema dei rifiuti marini, e si ripropongono di integrare gli studi già condotti da INGV e CNR all'interno dei Progetti *SeaCleaner* e NAUTILUS.

2. I progetti ML-DAR e ML-CSA

Il progetto ML-DAR, iniziato a luglio 2020 e di durata biennale, ha lo scopo di progettare rifiuti tracciati per lo studio della dispersione dei ML alle foci fluviali, di delineare un protocollo di monitoraggio e standardizzarlo in modo da poter essere utilizzato anche in contesti di *citizen science*. Il più recente progetto ML-CSA (inizio settembre 2021, durata di un anno) ha l'obiettivo di attuare il protocollo precedentemente ideato durante un percorso di PCTO (Percorsi per le Competenze Trasversali e l'Orientamento, ex "Alternanza Scuola-Lavoro"), coinvolgendo le scuole, per un'azione di sensibilizzazione verso il problema dei ML.

Nel dettaglio, il progetto ML-DAR, è nato con lo scopo di validare un nuovo metodo per studiare la modalità e i tempi di dispersione e spiaggiamento dei rifiuti marini che fuoriescono dalle foci fluviali, con particolare riferimento all'area costiera del Parco di Migliarino, San Rossore e Massaciuccoli, nei pressi della foce dell'Arno. All'interno del progetto i ricercatori hanno progettato, realizzato e testato dei drifter che simulassero il più possibile la dispersione di rifiuti marini. Non è una novità che si utilizzino esperimenti lagrangiani per monitorare e comprendere la circolazione marina [Lumpkin et al., 2013; 2017; Poulain et al., 2012; Berta et al., 2016; Sciascia et al., 2018] e la dispersione di idrocarburi in mare [Bellomo et al., 2015; De Dominicis et al.,

2016] ma questo progetto ha come approccio innovativo quello di utilizzare come *drifter* dei rifiuti veri, ossia dei flaconi di candeggina o bottiglioni da 5 litri di acqua sui quali è stato inserito un sistema di tracciamento realizzato utilizzando materiale elettronico a basso costo e una connessione GSM. Alcuni esperimenti simili sono già stati fatti in passato [Ohlmann et al., 2005; Subbaraya, et al., 2016; Krayushkin et al., 2018; Duncan et al., 2020], ma nella maggior parte dei casi si trattava di sistemi “misti”, che sfruttavano sia il GSM sia il classico satellitare. Nel nostro caso, abbiamo cercato di puntare in particolare sull'autonomia, sia per il sistema di tracciamento sia per quello di ricarica, oltre che sull'uso di materiali e tecnologie il più *low cost* possibile. Il progetto include anche il supporto di un modello lagrangiano di tracciamento delle particelle (il modulo *OceanDrift* appartenente al framework *OpenDrift*, Dagestad et al. [2018]) forzato da campi di corrente superficiale e di vento.

I campi di corrente sono forniti da un'implementazione ad alta risoluzione del modello SHYFEM (*Shallow water HYdrodynamic Finite Element Model*, Umgiesser et al. [2014]) nell'area costiera toscana approssimativamente compresa tra Cecina (LI) e Marina di Carrara (MS) e da analisi e previsioni (*forecast*) del servizio europeo *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS). Sia il modello di circolazione sia il modello di dispersione lagrangiana sono forzati dai campi di vento dell'ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*).

Numerosi sono gli esempi di modellistica lagrangiana applicata allo studio del trasporto di sostanze e particelle guidato dalla corrente e per studiare i meccanismi responsabili di dispersione degli inquinanti, tra cui Schroeder et al. [2012]; Berta et al. [2014] e progetti europei e internazionali come TOSCA - *Tracking Oil Spills and Coastal Awareness network*, CARTHE - *Consortium for Advanced Research on Transport of Hydrocarbon in the Environment* e MEDESS4MS - *Mediterranean Decision Support System for Marine Safety* [Zodiatis et al., 2016]. Sulla base dell'esistente *background* scientifico e tecnologico in questi settori di ricerca, il progetto ML-DAR integra perciò i risultati precedenti, realizzando un nuovo protocollo per indagare il tasso e la distribuzione dei ML spiaggiati nelle aree di influenza costiera e fluviale, in correlazione con l'andamento delle correnti marine e i regimi di scarico fluviale e mediante l'integrazione tra modelli e dati osservati. Inoltre, con ML-CSA è stato operativamente applicato l'approccio *citizen science*, o scienza partecipativa, che prevede il coinvolgimento di volontari e/o di studenti, attraverso progetti scolastici quali i PCTO per la costruzione e il rilascio dei rifiuti tracciati.

Il punto chiave dell'approccio, che rende applicabile il protocollo anche in contesti di *citizen science*, sta nell'utilizzare materiale - compreso quello elettronico - di basso costo e facile reperimento, fornendo allo stesso tempo le istruzioni per assemblare i diversi componenti al fine di realizzare, anche in contesto scolastico, speciali *drifters* da utilizzare in esperimenti di dispersione.

L'utilizzo della modellistica numerica, invece, è un valore aggiunto che mira a fornire sia un supporto pratico alle attività di progetto, in termini di indicazioni sull'eventuale spiaggiamento degli strumenti rilasciati a mare per il loro successivo recupero, che informazioni di carattere scientifico sulla dispersione e l'eventuale spiaggiamento di ML.

Al progetto ML-CSA hanno partecipato un centinaio di studenti dell'Istituto di Istruzione Superiore (IIS) “G. Capellini-N. Sauro” della Spezia (due classi quarte, indirizzo informatico; una classe terza e una quarta, indirizzo chimico e un alunno del Liceo delle Scienze Applicate) che hanno seguito tutto l'iter del progetto, dalla costruzione dei *drifter*, programmazione del sistema di tracciamento e alloggiamento delle componenti elettroniche al loro rilascio in mare e alla successiva elaborazione dei dati di tracciamento.

Grazie al contributo dei docenti e tecnici di diverse discipline scolastiche (informatica, elettronica, chimica, materiali marini applicati alla nautica), sono state apportate migliorie alla parte del supporto del sistema di tracciamento, nonché alle fasi dell'assemblaggio delle diverse parti per mezzo di resine speciali resistenti all'ambiente marino. Di seguito riassumiamo brevemente quanto attuato e ottenuto nell'ambito del progetto ML-DAR, i cui risultati scientifici sono stati

recentemente pubblicati [Merlino et al., 2023], con maggiori dettagli, su riviste internazionali.

2.1 Primi test e risultati del progetto ML-DAR

Nel 2021, durante lo svolgimento del primo dei due progetti, sono stati ideati alcuni prototipi di *drifters* a forma di “rifiuto marino”, di diversa tipologia, materiale e volumetria, che chiameremo perciò d’ora in poi *Marine Litter Trackers* (MLT). Ogni prototipo è stato dotato di un dispositivo GPS per il tracciamento, un sistema di ricarica e un sistema di trasmissione dati GSM. Più lanci sono stati effettuati in diversi periodi dell’anno e in condizioni differenti di vento e portata del fiume. Inoltre, ogni lancio-test (mini esperimenti di dispersione in mare) è stato supportato dall’utilizzo di modelli numerici euleriani per la simulazione della circolazione marina, e lagrangiani per le simulazioni della deriva dei *drifters*. La componente di dispersione del sistema è costituita da un modello lagrangiano di tracciamento delle particelle denominato *OpenDrift* e forzato dai campi di vento e dalle correnti superficiali fornite da un modello numerico tridimensionale di circolazione. *OpenDrift* simula (*hindcast mode*) il trasporto del ML, producendo in *output* la posizione delle particelle numeriche che rappresentano i ML ad una frequenza temporale definita, nonché lo spiaggiamento delle particelle sulla costa, fornendo così informazioni sulla localizzazione e l’estensione delle aree costiere interessate dal BML. Le informazioni sulle correnti attese nella zona circostante l’area di interesse sono state ottenute attraverso le previsioni fornite dal modello numerico oceanografico del servizio europeo di previsione marina CMEMS (*Copernicus Marine Environment Monitoring Service*) e da modelli ad alta risoluzione ad esso accoppiato per le aree più vicine a costa.

Da aprile a dicembre 2021 sono stati realizzati, usando i diversi prototipi creati, alcuni

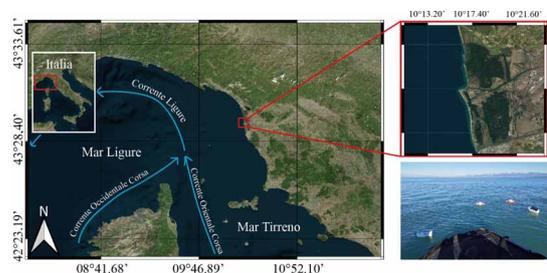


Figura 1 Dominio di riferimento dei progetti ML-DAR e ML-CSA. Nei riquadri a destra sono riportati: in alto, la foce del fiume Arno con (a Nord), la zona del Parco di Migliarino, San Rossore e Massaciuccoli; in basso, il momento del rilascio di alcuni MLT dal gommone del Gruppo Sommozzatori della Polizia di Stato della Spezia.
Figure 1 Reference area of the ML-DAR and ML-CSA projects. The boxes on the right show: above, the mouth of the Arno River with (to the north) the Migliarino, San Rossore and Massaciuccoli Park area; below, the moment of the release of some MLTs from a dinghy belonging to the La Spezia State Police Divers Group.

esperimenti di dispersione in cui pochi MLT sono stati rilasciati alla foce dell’Arno in stagioni diverse e con differenti condizioni di vento e di portata fluviale al contorno. Lo scopo principale è stato infatti quello di mettere a punto un sistema il più possibile semplice, economico e *smart*, che potesse essere riprodotto con facilità (durante il progetto ML-CSA) anche all’interno di un progetto scolastico di PCTO condotto da studenti di scuole superiori, in modo da realizzare un numero sufficiente di MLT e approntare con essi un esperimento futuro di dispersione che preveda il lancio di numerosi oggetti (circa 18) in una volta sola.

La forma prescelta per i MLT è essenzialmente di due tipi: a “tanica” o a “tavoletta” (Figura 2).

Per la prima sono state prelevate ed usate vere taniche di detersivo in plastica, del tipo che più frequentemente si trova abbandonato sulle spiagge e che rappresenta uno dei ML più comuni in tutte le classifiche (*top ten* Addamo et al. [2017]; European Environmental Agency [2015; 2022]) di questo tipo. Gli MLT a “tavoletta”, invece, sono costituiti da tavolette di legno quadrate, circa 40 X 40 cm, facilmente realizzabili e che galleggiano sull’acqua affiorando solo in piccola parte del proprio spessore. In questo modo è stato possibile testare l’effetto contemporaneo delle correnti e del vento sui diversi tipi di oggetti, a seconda della superficie emersa².

Per quanto riguarda il sistema di tracciamento, sono state sperimentate soluzioni diverse ma tutte basate sull’uso della rete GSM di telefonia mobile per la trasmissione dei dati, evitando quindi l’uso dei sistemi satellitari normalmente utilizzati per i *drifters* standard, che avrebbero comportato maggiori costi di realizzazione e mantenimento del sistema di tracciamento. I primi prototipi sono stati dotati di un dispositivo di tracciamento commerciale Winnes TK905, che abbiamo configurato per inviare la posizione GPS ogni 60 minuti. Il principale limite del sistema è legato alla perdita dei dati quando, in assenza di connessione GSM, il dispositivo non può inviare le informazioni, condizione che si realizza anche per lunghi periodi quando il *drifter* si trova in mare aperto quindi mediamente oltre le 10 miglia dalla costa. Tenendo conto di queste problematiche abbiamo pensato ad una soluzione personalizzabile, basata sulla scheda MADUINO SIM 808. Su questa abbiamo realizzato un *software* che registra la posizione alla frequenza di campionamento scelta, cerca di inviare i dati attraverso la rete GSM, ma in assenza di quest’ultima memorizza le informazioni su una scheda micro SD; alla prima connessione disponibile il dispositivo invia tutte le informazioni memorizzate per le quali ci sono stati problemi di trasmissione. È così possibile ricostruire la rotta del *drifter* pur perdendo il *real time* della trasmissione dei dati, condizione che nella maggior parte delle applicazioni non risulta così stringente. In entrambe le soluzioni il funzionamento è stato garantito dall’energia elettrica fornita da una batteria e dal suo sistema di ricarica basato su pannelli fotovoltaici.

Le date e le informazioni riguardanti i lanci sono riportate in Tabella 2, mentre le rotte compiute

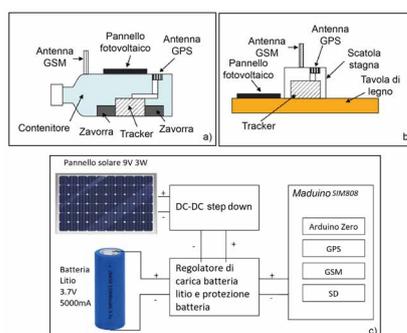


Figura 2 In alto gli schemi dei due diversi tipi di MLT progettati: a) tanica; b) tavoletta; In basso: c): schema del nuovo sistema ad hoc progettato per registrare tutta la rotta, usando la tecnologia MADUINO.

Figure 2 Above: schematics of the two different types of MLT designed: a) canister; b) tablet. Below: c): schematic of the new ad hoc system designed to record the entire route, using MADUINO technology.

sono visualizzate in Figura 3.

*Data dell’ultimo contatto

² I nostri *drifters*, infatti, vogliono simulare dei reali rifiuti marini galleggianti trasportati al largo una volta immessi in mare dai fiumi, per questo differiscono dai *drifter* normalmente utilizzati dai ricercatori, che hanno una sorta di deriva che gli consente di essere spostati prevalentemente dall’effetto della corrente marina rispetto a quello del vento.

SPECIFICHE TECNICHE DEI DISPOSITIVI ELETTRONICI	
GSM	Quad-Band GSM 850/900/1800/1900 MHz
GPRS	Multi-slot class 12/10
GPS	Receiver 66 channel, L1 1575.42MHz Accuracy position 5 m Hot start = 1 sec Warm start = 5 sec Cold start = 32 sec
PROCESSORE	ATSAMD21G18, 32-Bit ARM Cortex M0+ Clock: 48 MHz
MEMORIA	256KB flash, 32KB SRAM
BATTERIA	Lithium polymer (LiPo) Capacity = 5000mAh Nominal = 3.7V
ANTENNE	GSM: 0 DBi GPS: Active 27 DBi
CARICA BATTERIE	Modulo di ricarica per batterie litio 3.7V basato sul chipset TP4056. + Protection Circuit Board Charger Module 5 V 1 A
DC-DC step down	Convertitore DC-DC di tensione Step Down 6V-32V a 3V-12V regolabile Step Down
SIM	Think Mobile, SIM per applicazioni IoT e M2M con copertura in più di 165 Paesi e accordi con oltre 350 operatori di roaming in 2G, 3G, 4G, CAT-1, CAT-M1
SD	Micro SD, 4GB, classe II

Tabella 1 Specifiche dell'elettronica utilizzata, finalizzata a gestire localizzazione satellitare GPS, sensoristica, connettività GSM e memorizzazione locale nell'ambito di applicazioni su *drifter* dislocati in mare (temperatura di funzionamento: da -40°C a +85).

Table 1 Specifications of the electronics used, aimed at managing GPS satellite tracking, sensors, GSM connectivity and local storage in the context of applications on drifters deployed at sea (operating temperature: -40°C to +85).

Numero Lancio	Data	ID	Tipologia MLT	Tipologia di sistema di tracking	Percorso compiuto (Km)	Data di fine percorso	Tipologia di fine percorso
1	16/04/2021	L1T1	Tavoletta	Winnes	852,59	09/08/2021	spiaggiato e recuperato
2	09/08/2021	L2T1	3L	Winnes	2,17	09/08/2021	spiaggiato e recuperato
		L2T3	1.5L	MADUINO	2,9	09/08/2021	spiaggiato e recuperato
		L2T2	Tavoletta 2	Winnes	2,81	09/08/2021	spiaggiato e recuperato
		L2T1	3L	Winnes	3,97	12/08/2021	spiaggiato e recuperato
3	12/08/2021	L2T3	1.5L	MADUINO	3,54	12/08/2021	spiaggiato e recuperato
		L2T2	Tavoletta 2	Winnes	3,5	12/08/2021	spiaggiato e recuperato
		L3T2	5L	Winnes	102,18	19/09/2021	spiaggiato e recuperato
4	15/09/2021	L3T1	3L	Winnes	100,18	19/09/2021	spiaggiato e recuperato
		L2T2	Tavoletta 2	Winnes	557,58	19/10/2021	spiaggiato e non recuperato
		L2T1	3L	Winnes	185,29	24/12/2021	spiaggiato e recuperato
5	16/12/2021	L4T3	Tavoletta 5	MADUINO	160,59	24/12/2021	spiaggiato e recuperato
		L3T1	3L	Winnes	191,89	24/12/2021	spiaggiato e non recuperato
		L4T1	Tavoletta 3	MADUINO	426,93	02/01/2022*	Perso in mare

L'uso dei prototipi ci ha permesso di renderci conto delle difficoltà, dei punti di forza e di quelli

Tabella 2 Informazioni generali sui lanci eseguiti ed i *drifters* utilizzati durante i test eseguiti nel progetto ML-DAR.
Table 2 General information on the launches performed and the drifters used during the tests carried out in the ML-DAR project.

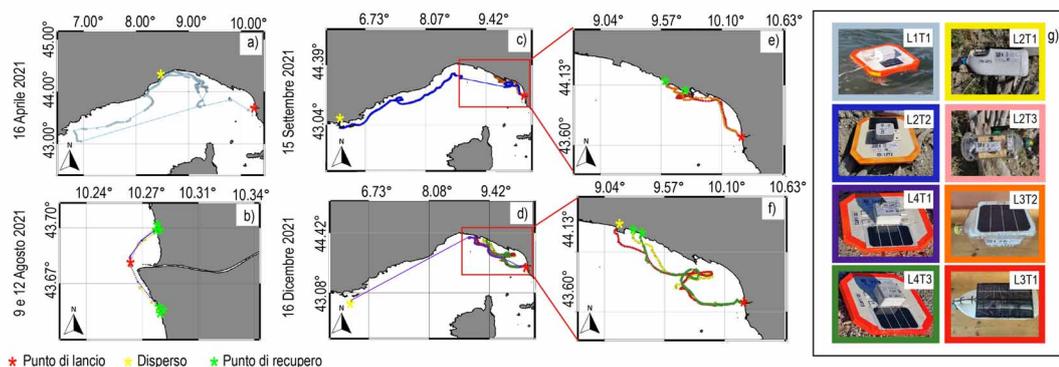


Figura 3 In figura sono riportate 4 mappe, una per ogni lancio effettuato, ad eccezione della seconda dall'alto (b), che raggruppa due lanci consecutivi. Le date dei lanci sono: a) 16 aprile 2021; b) 9 e 12 agosto 2021 (il secondo lancio è indicato con linee tratteggiate); c) 15 settembre 2021; d) 16 dicembre 2021. Le mappe e) ed f) rappresentano uno zoom rispettivamente delle mappe c) e d). I diversi colori delle tracce corrispondono ai diversi *drifters*, riportati in alto a destra e contornati dal proprio colore. Il punto di lancio è sempre stato lo stesso per tutti gli esperimenti: davanti alla foce del fiume Arno. Le mappe a sinistra (a, b, c, d) evidenziano la forte variabilità fra i percorsi effettuati dai MLT a “tavoletta” e quelli a “tanica”. In particolare, si può notare che in ben tre casi su cinque (a, c, d) le “tavolette” si sono immerse nella LC che le ha trasportate fino in Francia. Le mappe a destra mostrano, attraverso lo zoom di alcuni settori, le traiettorie seguite soprattutto dai MLT a forma di tanica, sospinti più velocemente dai venti prevalenti verso la costa. Grazie al sistema MADUINO di tracciamento molte delle traiettorie sono molto dettagliate (alta frequenza di registrazione dei dati di posizione). I dati mancanti sono evidenti (con una linea retta) nel primo lancio di aprile 2021 (sistema di tracciamento Winnes) e in quello di dicembre 2021, in cui nonostante il tracciamento fosse MADUINO, la bassa ricarica non ha permesso una registrazione dati con la frequenza necessaria.

Figure 3 Four maps are shown in the figure, one for each launch performed, with the exception of the second from above, (b), which groups two consecutive launches. The dates of the launches are: a) 16 April 2021; b) 9 and 12 August 2021; (the second launch is indicated with dotted lines); c) 15 September 2021; d) 16 December 2021. Maps (e) and (f) represent a zoom of maps (c) and (d) respectively. The different colours of the tracks correspond to the different drifters, shown in the top right-hand corner and outlined by their own colour. The launching point was always the same for all experiments: in front of the mouth of the Arno river. The maps on the left (a, b, c, d) show the strong variability between the routes taken by the “tablet-shaped” MLTs and by the “tank-shaped” ones. In particular, it can be seen that during three out of five launches (a, c, d), “tablet-shaped” MLTs entered the LC and were transported to France. The maps on the right show, by zooming in on certain sectors, the trajectories followed mainly by the “tank-shaped” MLTs, that were pushed faster by the prevailing winds towards the coast. Thanks to the MADUINO tracking system, many of the trajectories are very detailed (high frequency of position data recording). Missing data are evident (with a straight line) in the first launch in April 2021 (Winnes tracking system) and in the December 2021 launch, where although the tracking was MADUINO, the low recharge did not allow data to be recorded with the necessary frequency.

di debolezza del sistema elettronico approntato, nonché dei supporti, e quindi di migliorarli in vista della produzione di più MLT durante la PCTO all'interno del progetto ML-CSA.

In particolare, il nuovo sistema di tracciamento ha dimostrato la sua validità permettendoci negli ultimi due lanci (settembre e dicembre 2021, Figure 3c e 3d) di seguire gli spostamenti dei MLT in cui era stato montato (quelli a "tavoletta") anche in aree non coperte dal segnale GSM, diversamente da quanto accaduto nel primo lancio di aprile, durante il quale si sono riscontrate numerose lacune nella parte finale della traiettoria (Figura 3a).

Per quanto riguarda le specifiche elettroniche e i sistemi di ricarica utilizzati, ci siamo resi conto di alcune problematiche, tra le quali la bassa efficienza del pannello fotovoltaico durante i mesi invernali si è rivelata la più insidiosa. Ciò non ha permesso, infatti, di avere i dati registrati nella parte finale della rotta di uno dei due MLT a "tavoletta" del lancio di dicembre: l'incapacità di caricarsi sopra al 20%, a causa della bassa illuminazione dovuta a pessime condizioni meteo, ha causato la mancata registrazione dei dati della rotta, per cui, da una certa data in poi, al momento del collegamento GSM ha trasmesso solo la posizione e non tutto il *tracking*. Questo problema, dovuto alla permanenza in mare di alcune tipologie di *drifters* (tavoletta) e all'utilizzo di pannelli solari di ridotte dimensioni (a causa della bassa superficie utilizzabile nel supporto) ci ha spinti a cercare la massima riduzione dei consumi della scheda MADUINO SIM 808; questo si rivela particolarmente utile per l'uso nei periodi invernali con ridotta quantità di insolazione. Abbiamo perciò apportato delle modifiche al funzionamento della scheda, optando per un ciclo operativo caratterizzato, sulla base della frequenza di campionamento, da una breve fase di acquisizione e trasferimento a consumo ordinario, seguita da una lunga fase a basso consumo dove si pone la scheda in modalità *sleep*, mentre i moduli SIM 808 e SD sono disattivati. Inoltre, in alcuni modelli (tavoletta) abbiamo anche inserito un doppio pannello fotovoltaico.

Una ulteriore miglioria dei MLT, ottenuta grazie alle sperimentazioni dei primi prototipi, e grazie soprattutto alla collaborazione degli istituti scolastici coinvolti (vedi paragrafo 2.3) è quella della tenuta stagna del corpo dei MLT: il metodo inizialmente usato, che prevedeva di dare diverse mani di resina epossidica, è stato sostituito dall'uso di sigillanti e *primer* appositi per poliolefine, testati nei laboratori chimici dell'IIS "G. Capellini-N. Sauro" della Spezia. Tali materiali, uniti ad un impregnante (*Owatrol oil*) assicurano un'ottima adesione fra le diverse parti che compongono il MLT (sia quello a tavoletta che quello a tanica), oltre che un'ottima impermeabilità, garantendo tempistiche più rapide di assemblaggio.

Per quanto riguarda i risultati prettamente "sperimentali" ottenuti dai lanci-test, essi, seppur in forma preliminare, ci hanno permesso di formulare alcune considerazioni di carattere generale sul comportamento seguito dai MLT:

1. i MLT a forma di tanica tendono a seguire percorsi più brevi rispetto a quelli a forma di tavoletta. Infatti la maggiore volumetria della parte emersa li rende - a parità delle altre condizioni - più soggetti all'effetto diretto del vento (*windage*). In particolare, a parità di condizioni di vento e di corrente, i MLT "tanica" si sono avvicinati più a riva rispetto alle "tavolette", sospinti sia dai venti sopraggiunti agenti nella zona litoranea che dal trasporto di Stokes³. I MLT "tavoletta", invece, sembrano risentire meno dei venti costieri e, una volta sospinti verso il largo, tendono a rimanerci più a lungo: in diversi casi gli MLT a forma di tavoletta, trasportati dalla LC hanno raggiunto le coste francesi, nella zona tra Saint Tropez e le isole Porquerolles (Figura 3), cosa che non è mai accaduta per i MLT a forma di bottiglia o tanica;
2. da questi dati emerge un quadro in cui il vento risulta essere il fattore determinante rispetto al comportamento dei MLT. Nella zona oggetto di studio, il vento dominante proviene da Est durante il periodo che va dall'autunno alla primavera, e solo in estate si

³ Con trasporto di Stokes (o Stokes drift) si intende il trasporto aggiuntivo (rispetto a quello della corrente media) sulla superficie del mare causato dall'andamento elicoidale delle particelle in sospensione, soggette al moto ondoso.

hanno venti consistenti provenienti prevalentemente da Ovest [Pierini and Simioli, 1998], anche se per la maggior parte di questa stagione la costa è soggetta al regime di brezza su scala giornaliera. Ciò fa sì che durante le ore diurne il vento, debole, spinga gli oggetti rilasciati nei pressi della foce dell'Arno verso la costa, mentre di notte le condizioni si invertono. Poiché il comportamento in regime diurno è più lungo di quello in regime notturno durante l'arco della giornata la maggior parte dei rifiuti tenderà ad essere sospinta verso costa;

3. queste considerazioni ci portano a ipotizzare che i rifiuti in uscita dal fiume Arno, e in particolar modo quelli con volumetria tale da farli emergere rispetto al pelo dell'acqua (bottiglie, taniche, ecc.), risentendo dell'effetto combinato di venti stagionali prevalenti, regime di brezza e corrente locale, tendano a disperdersi prevalentemente su un areale non troppo vasto che dalla foce del fiume Arno si spinge verso Nord, abbracciando tutto il parco di Migliarino, San Rossore e Massaciuccoli.

Ogni lancio è stato preceduto da una previsione effettuata con l'utilizzo del modulo *OceanDrift* appartenente al modello di dispersione *OpenDrift*, sia per identificare eventuali condizioni meteo-marine avverse al lancio, che per fornire informazioni utili al recupero successivo degli strumenti.

In seguito i dati acquisiti attraverso i MLT sono stati utilizzati per la validazione delle simulazioni numeriche e per la calibrazione di parametri del modello oceanografico, quali ad esempio il *wind drift factor*, che consente la modulazione a livello numerico del *wind drag*, il trascinamento dovuto al vento, come mostrato in Figura 4, dove ad ogni colore corrisponde un diverso valore di *wind drift factor*.

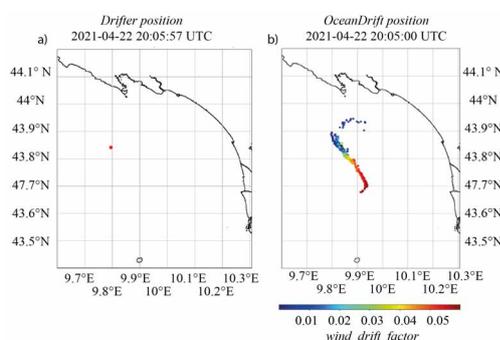


Figura 4 Nel pannello a sinistra (a) è indicata la posizione alle ore 20:06 UTC del *drifter* rilasciato il 16/04/2021 in occasione del primo lancio effettuato; nel pannello a destra (b) è rappresentata la distribuzione delle particelle simulata dal modulo *OceanDrift*, con diverse parametrizzazioni del *wind drift factor*, per il *time step* più vicino al dato osservato. L'inizio della simulazione condotta col modulo *OceanDrift*, e quindi il rilascio delle particelle, coincide con il primo dato acquisito dal *drifter*.

Figure 4 The left panel (a) shows the position at 20:06 UTC of the *drifter* released on 16/04/2021 on the occasion of the first launch; the right panel (b) shows the distribution of the particles simulated by the *OceanDrift* module, with different parameterisations of the *wind drift factor*, for the *time step* closest to the observed datum. The start of the simulation conducted with the *OceanDrift* module, and therefore the release of the particles, coincides with the first data acquired by the *drifter*.

3. Il progetto ML-CSA ed il PCTO: *citizen science*, educazione e ricerca

Il progetto ML-DAR ha avuto, fin dall'inizio, una connotazione particolare: quella di essere un progetto di ricerca scientifica supportato dalla *citizen science*. In altre parole, non ha avuto l'unico obiettivo di raccogliere il maggior numero possibile di dati (verificati e controllati), ma anche quello di coinvolgere attivamente i cittadini per avvicinarli alle tematiche affrontate. In questo specifico caso, la tematica del progetto è di particolare interesse perché affronta un problema attuale di grande rilievo. L'idea di far partecipare i cittadini alle nostre indagini scientifiche sulla dispersione in mare e sull'accumulo in spiaggia dei ML (specialmente quelli di plastica) nasce dalla convinzione che tale approccio favorisca la crescita di una maggior consapevolezza verso questo problema da parte delle persone coinvolte in maniera diretta. Questo vale, a maggior ragione, per i più giovani, e da qui l'idea di attuare un PCTO all'interno di una scuola superiore, dove all'aspetto di sensibilizzazione si associa a quello di educazione scientifica e ambientale. Ciò è avvenuto tramite il progetto ML-CSA. La scuola coinvolta è stata, in questo caso, l'IIS "G. Capellini-N. Sauro" della Spezia, che ha partecipato al progetto con quattro classi, di circa 20/25 alunni ciascuna, appartenenti agli indirizzi "elettronico/informatico" e "chimico".

L'attività del PCTO si è svolta da gennaio 2022 a maggio 2022, ed è stata suddivisa in diversi passaggi (<https://sites.google.com/view/seacleaner/educazione/tracciando-i-rifiuti>):

- una lezione generale sulla problematica dei ML approfondendo sia le tecniche di monitoraggio in mare e in spiaggia attraverso la *citizen science* e/o con l'utilizzo di strumenti tecnologici (droni e satelliti) che le metodologie attualmente utilizzate nel campo dell'oceanografia fisica per lo studio delle correnti marine, e quindi il ruolo dei *drifters* e quello della modellistica lagrangiana;
- una lezione più specifica dedicata ad illustrare lo scopo del progetto ML-DAR e le caratteristiche operative sottolineando la novità del nostro approccio, le caratteristiche e le tecnologie di costruzione dei MLT, esponendo i risultati preliminari del progetto e le aspettative del progetto ML-CSA;
- quattro laboratori specifici, dedicati ad ognuno degli indirizzi di studio (chimico ed elettronico/informatico) della scuola coinvolta.

Gli studenti dell'indirizzo elettronico hanno acquisito competenze sulla gestione della scheda MADUINO SIM 808 e si sono dedicati al cablaggio dell'intero sistema dove era presente anche il circuito di ricarica, la batteria ed il pannello solare. Gli studenti dell'indirizzo informatico hanno acquisito competenze sulla programmazione della SCHEDA MADUINO SIM 808, hanno gestito ed elaborato il software ed hanno proceduto alla programmazione della stessa scheda. Gli studenti dell'indirizzo chimico si sono occupati della selezione dei ML oggetto dell'integrazione del dispositivo elettronico. In particolare hanno studiato la modalità di inserimento del dispositivo in bottiglie e tavolette di legno, dell'incollaggio delle diverse parti e della loro sigillatura stagna per garantirne l'integrità durante l'esperimento. Hanno testato diversi materiali ed hanno condotto sperimentazioni in vasca per valutare stabilità idrodinamica ed efficacia della sigillatura.

Al termine di questi percorsi differenziati gli studenti hanno condotto un'attività congiunta di integrazione e di *testing* finale. Gli studenti ed insegnanti dei diversi indirizzi hanno collaborato con i ricercatori coinvolti nella fase di assemblaggio delle diverse parti al fine di produrre 10 di MLT. Infine, grazie alla collaborazione del CNeS - Centro Nautico e Sommozzatori della Polizia di Stato della Spezia, gli studenti hanno partecipato al lancio dei MLT il 17 maggio 2022. Il lancio è stato effettuato nei pressi della foce del fiume Arno, come per i precedenti lanci-test dell'esperimento ML-DAR. Gli studenti hanno potuto seguire l'andamento

dell'esperimento nei giorni seguenti per mezzo della web App specifica sviluppata dai ricercatori CNR, che va a sostituire l'App Winnes GPS (del sistema commerciale Winnes usato per i primi prototipi) e la corrispondente web App accessibile sul sito <https://www.mytkstar.net>.

La grande mole di dati che sarà acquisita dai numerosi MLT che saranno rilasciati in occasione del lancio programmato per metà maggio 2022 consentirà una validazione e calibrazione più efficace del modulo *OceanDrift*, nonché la possibilità di analizzare in maniera statisticamente più rappresentativa la dispersione dei ML dalla foce del fiume Arno. Ci auguriamo che tali informazioni possano confermare le prime deduzioni già ottenute con i lanci di prova. Infatti, anche se realizzato con pochi MLT alla volta, i lanci, effettuati con condizioni al contorno (meteo, portata dell'Arno, vento, stagione) differenti, ci hanno dato la possibilità di testare i MLT in diverse situazioni.

Inoltre, non abbiamo voluto tralasciare di indagare l'aspetto educativo di questo progetto: un questionario pre-attività è stato somministrato all'inizio del progetto agli studenti coinvolti e uno post-attività verrà somministrato alla fine. I questionari sono stati adeguatamente preparati in modo da contenere domande che possano restituire informazioni sia sull'auspicato aumento di conoscenze degli studenti che avranno partecipato al PCTO, sia sull'eventuale variazione di attenzione, sensibilità e interesse per le tematiche ambientali toccate, che abbiano quindi favorito una tendenza verso comportamenti più eco compatibili.

Gli studenti coinvolti appartengono ad una scuola che, proprio grazie alla partecipazione a questo progetto è entrata nel *network* delle Blue Schools (<https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/en/frontpage/1485>), ed è inserita, inoltre, nel progetto Erasmus Plus BlueS_Med (Mediterranean Blue Schools - Acteon https://www.acteon-environment.eu/en/actualites/blueschoolsmed-lauching/?doing_wp_cron=1646944616.3780450820922851562500#!prettyPhoto). L'inclusione delle attività previste con ML-DAR e ML-CSA in progetti europei come NAUTILUS (<https://www.nautilus-h2020.eu/the-project/>) ed Erasmus Plus BlueS_Med ha permesso di aumentare le sinergie e aumentare le collaborazioni - il che va davvero d'accordo con lo spirito della coalizione EU4Ocean (<https://www.eurocean.org>).

La connotazione di *citizen science* dei due progetti sta anche nel fatto che sono stati coinvolti nella ricerca, oltre che ovviamente i ricercatori, anche privati cittadini, personale di Parchi Marini, vigili urbani, poliziotti, professori e studenti che ci hanno aiutato a sviluppare i diversi aspetti del progetto o hanno recuperato alcuni dei MLT spiaggiati (Figura 5).



Figura 5 Alcune immagini di protagonisti e momenti salienti del progetto ML-CSA: i ricercatori coinvolti (a); della messa in acqua dei primi prototipi (b, c); i cittadini e/o autorità che ci hanno aiutati nel recupero dei MLT spiaggiati (d, e, f); gli studenti e professori che, durante la PCTO svoltasi presso l' IIS "G. Capellini-N. Sauro" della Spezia, hanno contribuito a co-progettare, testare e costruire i nuovi MLT da utilizzare nell'esperimento finale previsto per fine aprile/inizio maggio 2022 (g, h, i).

Figure 5 A few pictures showing some of the protagonists and highlights of the ML-CSA project: the involved researchers (a); the launching of the first prototypes (b, c); the citizens and /or authorities who helped us recover the beached MLTs (d, e, f); the students and teachers who, during the PCTO held at the IIS "G. Capellini-N. Sauro" of La Spezia, helped co-design, test and build the new MLTs to be used in the final experiment planned for late April/early May 2022 (g, h, i).

4. Proxy storici e proxy inconsueti: il comune destino di santi martirizzati, messaggi in bottiglia e *marine litter*

Come abbiamo detto nell'introduzione, spesso gli oceanografi sono stati costretti ad andare alla ricerca di *proxy* da cui ricavare le informazioni per le quali non esiste una fonte diretta, soprattutto se interessano dati di lungo periodo, che risalgono nel passato anche per diverse centinaia di anni. È il caso, ad esempio, dei *proxy* storici per lo studio del fenomeno delle oscillazioni "El Niño-la Niña" (El Niño Southern Oscillation- ENSO). ENSO è un fenomeno climatico che si verifica nell'Oceano Pacifico equatoriale ed è legato ad oscillazioni di pressione e temperatura a periodicità variabile dell'ordine di alcuni anni, con un impatto su scala globale. Per questo analizzando i dati disponibili in diverse zone del mondo relativi all'intensità delle precipitazioni, alla crescita dei coralli, agli anelli di alberi centenari, e studiando i carotaggi effettuati in zone glaciali è stato possibile ricostruire l'andamento di ENSO, indietro nel tempo fino al 1960 [McGregor et al., 2010].

Nel caso della circolazione che interessa il Mar Ligure e il Mar Tirreno settentrionale, e in particolare il tratto di mare compreso tra la foce dell'Arno e il limite del Golfo del Leone, esistono prove indirette sullo spostamento e sulle traiettorie di corpi e oggetti portati dalle correnti. Non si tratta di *proxy* veri e propri, in quanto non sono stati raccolti, studiati e messi a sistema, ma piuttosto di elementi conoscitivi empirici. Le persone che vivevano nelle località litoranee conoscevano i posti dove prevalentemente andavano a finire gli oggetti trasportati dai fiumi durante le piene o caduti in mare per motivi diversi. Fra questi i cadaveri degli annegati. Un caso curioso, che ha a che vedere proprio con la Corrente Ligure, è quello del destino delle spoglie di un santo poco noto, martirizzato nei dintorni di Pisa all'epoca di Nerone (68 d. C.): san Torpè, o Torpete. Secondo la *Passio Sancti Torpetis* [Henschenius et Papebrochius, 1685] il cadavere decapitato del martire fu deposto, insieme a un gallo e a un cane, in un'imbarcazione alla foce dell'Arno, ovvero esattamente da dove sono partiti anche i MLT del nostro progetto ML-DAR.

L'imbarcazione che trasportava i resti di san Torpè viaggiò verso Nord (trasportata molto probabilmente dalla stessa corrente predominante che ha trasportato anche i MLT, e che ancora oggi trascina molto del materiale che fuoriesce dall'Arno) e finì per arenarsi nelle vicinanze di una cittadina della Provenza, allora detta Heraclea ma in seguito ribattezzata Saint-Torpez (oggi Saint-Tropez) proprio in onore del santo, di cui oggi esistono solo tre chiese dedicate (una a Pisa, l'altra a Saint Tropez, e la terza a Genova). È interessante notare che nel corso del nostro esperimento, per ben tre volte uno dei nostri MLT a forma di tavoletta (quindi quelli meno influenzati dal vento, ma sicuramente influenzati dalla corrente predominante, la LC) ha raggiunto la zona di mare prospiciente Saint-Tropez (Tabella 2 e Figura 3 c, d, f).

Abbiamo voluto raccontare questa vicenda a causa della particolare coincidenza fra i due luoghi di immissione in mare e di reperimento della barca recante le spoglie dell'antico martire e degli MLT del nostro esperimento. Oltre a questo "caso", di interesse storico-culturale, da cui emerge l'importanza del trasporto veicolato dalla corrente marina, vorremmo descriverne un secondo più recente, che presenta un aspetto meno macabro, più divertente e anche, possiamo dire, romantico. Si tratta del rilascio in mare di alcuni "messaggi in bottiglia" (in questo caso si trattava però di bottiglie di vetro) lanciati da un innamorato, il 4 ottobre 2021, durante un viaggio di lavoro in mare su di una barca a vela a 15 miglia dalla costa di Genova. Le bottiglie contenevano: una poesia d'amore dedicata alla compagna del "mittente"; una busta già affrancata e recante l'indirizzo della destinataria; una lettera di istruzioni in cui si chiedeva a chi avesse trovato la bottiglia di spedire la poesia d'amore all'indirizzo scritto sulla busta; 10 euro per garantire che il messaggio venisse spedito e per il disturbo. La bottiglia è stata recuperata proprio sulla Costa Azzurra, nella località di Sète, da un signore francese, che ha fatto quanto richiesto, aggiungendo, inoltre, un bigliettino scritto di suo pugno in cui indicava dove e quando era stata trovata la lettera, che è arrivata alla destinataria l'8 novembre del 2021. Per una curiosa coincidenza questa signora altri non era se non un'insegnante dell'IIS "G. Capellini-N. Sauro" della Spezia che ha collaborato con noi nell'attuazione dei due progetti.

5. Conclusioni

I messaggi in bottiglia e i cadaveri dei martiri, anche se in epoche diverse, hanno subito lo stesso destino di molti altri oggetti che vengono trasportati, prevalentemente verso Nord, nella zona del Mar Tirreno di cui ci siamo occupati. E con essi anche moltissimi rifiuti galleggianti, come dimostrano i dati del nostro esperimento. Se si considera che gli studi più recenti attestano che la stragrande maggioranza dei rifiuti in mare ha origine terrestre, e in particolare è immessa dai fiumi [Rech et al., 2014; van Emmerik and Schwarz, 2020; Meijer et al., 2021] questo ci deve portare a riflettere seriamente su tale problema e su come affrontarlo e cercare di risolverlo. La presenza delle correnti marine come vettori di trasporto è di per sé un tema interessante da studiare, ma lo è ancor più se il trasporto coinvolge anche fattori culturali ed interessi umani. Vorremmo concludere prendendo le due storie appena raccontate, da esempio di come il mare colleghi posti lontani, nella cattiva ma anche nella buona sorte. Il mare può essere visto come strumento per mettere in contatto persone e culture diverse, ma può anche, a causa di un nostro comportamento scorretto, diventare uno strumento per il trasporto e la diffusione dell'inquinamento.

Infatti, nonostante sia necessario che tutti gli attori coinvolti in questa sfida, a partire dall'industria manifatturiera, facciano la loro parte, e che vengano introdotte legislazioni ad hoc [Crippa et al., 2019; Changing Markets Foundation, 2020; Eunomia, 2021], è altresì vero che vi sia una forte attenzione e partecipazione al problema da parte dei cittadini. È infatti riconosciuto come il coinvolgimento di cittadini istruiti e consapevoli sia importante per rendere le leggi più efficaci.

L'introduzione di norme di comportamento come la Direttiva Europea (EU) 2019/904 [Sherrington et al., 2021; UNEP, 2021] appoggiate da campagne che inducano alla modifica dei comportamenti personali e spingano verso un maggior impegno pubblico/ambientale hanno solitamente più successo della mera introduzione di oneri e doveri [Alpizar et al., 2020; Huber et al., 2020]. In particolare, l'educazione ambientale gioca un ruolo importante nel ridurre il consumo di plastica [Hartley et al., 2015; 2018] e nel ridurre i rifiuti di plastica sulla spiaggia [Cingolani et al., 2016; Rayon-Viña et al., 2018].

È quindi importante, oltre all'azione politica e legislativa, promuovere la consapevolezza della vulnerabilità dell'ambiente marino tra i cittadini, e far capire loro il ruolo del comportamento personale nella creazione e nella soluzione dei problemi ambientali, rafforzando così il processo già in atto di cambiamento dei valori sociali per promuovere scelte comportamentali responsabili [McKinley and Fletcher, 2012]. Noi riteniamo che le istituzioni educative possano giocare un ruolo importante in questo processo, promuovendo la conoscenza di questi problemi nei cittadini ed in particolare negli studenti, favorendo una maggior conoscenza di quali siano le categorie di plastica con maggior impatto negativo sull'ecosistema, su quali siano i problemi legati alla loro produzione, commercializzazione e smaltimento, sui modelli di consumo di plastica più sostenibili [Hutner et al., 2018; Septianto and Lee, 2020; Zwicker et al., 2020]. In sostanza fornendo indicazioni importanti su quali siano le strategie più efficaci per affrontare sia a livello globale che locale le problematiche legate al ML. Come affermato in Vegter et al. [2014]: "È importante attuare una strategia di educazione e consapevolezza per ridurre al minimo gli impatti attuali e futuri dell'inquinamento da plastica sulla fauna marina e sugli habitat, e ciò richiede lo sviluppo e la diffusione di messaggi volti a modificare i comportamenti umani associati alla fabbricazione, all'acquisto, all'uso e allo smaltimento dei prodotti di plastica. Il messaggio deve essere costruito su informazioni scientifiche accurate, e deve soprattutto essere consegnato al pubblico e ai decisori, attraverso media tradizionali e sociali, conferenze, stampa popolare, siti web e pubblicità".

In tale contesto, l'utilizzo della *citizen science* quale mezzo appropriato ed efficace di diffusione non solo della problematica specifica affrontata, quella dei ML, ma anche dei mezzi possibili per risolverla [Garcia-Soto et al., 2021], si configura come un'opportunità, che noi abbiamo voluto valorizzare nel progetto ML-CSA. L'ottimo risultato raggiunto attraverso i due progetti (ML-DAR e ML-CSA) consiste principalmente nella realizzazione di un protocollo che include aspetti scientifici, tecnologici e di *citizen science* che può essere applicato e adattato a situazioni e aree di studio diverse. Con i due progetti si pongono le basi per uno strumento che può permettere lo sviluppo di una tecnologia *low coast* con lo scopo di aumentare la conoscenza nell'ambito della dispersione dei ML dalle foci dei fiumi o in aree costiere, validare e calibrare i modelli numerici utilizzati per lo studio della dispersione dei ML e allo stesso tempo sensibilizzare studenti e cittadini sulla problematica dell'inquinamento marino dovuto alla plastica.

Ringraziamenti

Essendo il nostro un progetto di *citizen science*, i ringraziamenti ai cittadini che ci hanno aiutati sono sicuramente una parte fondamentale ed importante del progetto. Speriamo quindi di non dimenticare nessuno.

Iniziamo col ringraziare il CNeS - Centro Nautico e Sommozzatori della Polizia di Stato della Spezia, che ci sta supportando da due anni in diversi progetti di ricerca e di educazione ambientale.

Ringraziamo poi i privati cittadini e le autorità che ci hanno aiutato nel recupero dei MLT, durante gli spiaggiamenti che si sono verificati: i proprietari del ristorante "Ca da Gurpe al mare" di Chiavari; i vigili del gruppo di Polizia Locale Lavagna; gli operatori del Parco delle Cinque Terre;

Lorenzo Gallese; i bagnini dell'associazione bagnini di Marina di Pisa. Ringraziamo il dirigente scolastico (Antonio Fini), i docenti (Giulia Castiglioni, Luca Vignali, Annalisa Giannanti, Monica Pezzetti, Tiziana Castagnetti, Lorena Caselli e Annalisa Rossi), gli assistenti di laboratorio (Carola Capponi) e il progettista elettronico (Ivano Bertolini) dell'IIS "G. Capellini-N. Sauro" della Spezia per averci aiutato tantissimo nella progettazione dei MLT; grazie a loro, alle loro conoscenze e anche all'entusiasmo con cui hanno affrontato con noi questo PCTO, abbiamo potuto apportare numerose migliorie ai prototipi originali dei nostri MLT. Ringraziamo inoltre gli alunni delle classi IV A e IV B dell'indirizzo informatico, e III E e IV E dell'indirizzo chimico dello stesso istituto, per aver partecipato al PCTO e svolto un ottimo lavoro di squadra. Un ringraziamento particolare va a Danilo Bruni, esperto di materiali marini applicati alla nautica, per aver passato molti weekend a testare le sue idee che hanno contribuito a migliorare le prestazioni dei nostri MLT. Le attività realizzate durante il PCTO sono state rese possibili grazie al finanziamento INGV tramite i progetti **ML-DAR** (*A multidisciplinary method to study the Marine Litter Dispersion from the Arno River mouth: a study case supported by citizen science*) e **ML-CSA** (*"Study the Marine Litter dispersion: Citizen Science Application case"*) e a quello CNR-ISMAR tramite il progetto Europeo NAUTILOS (<https://www.nautilus-h2020.eu/the-project/>), che ha ricevuto i fondi dall'Unione Europea (*H2020 research and innovation programme*) con il *grant agreement* No. 101000825. Inoltre, tutte le attività realizzate in collaborazione con l'IIS "G. Capellini-N. Sauro" si inseriscono nel progetto Europeo *Erasmus Plus* "BluesSchoolMed" (<https://www.acteon-environment.eu/en/actualites/blueschoolsmed-lauching>).

Bibliografia

- Addamo A.M., Laroche P., and Hanke G., (2017). *Top marine beach litter items in Europe. A Review and Synthesis Based on Beach Litter Data. MSFD Technical Group on Marine Litter*. Report No. EUR29249, 148335.
- Alpizar F., Carlsson F., Lanza G., Carney B., Daniels R.C., Jaime M., Ho T., Nie Z., Salazar C., Tibesigwa B., Wahders S., (2020). *A framework for selecting and designing policies to reduce marine plastic pollution in developing countries*. *Environmental Science and Policy*, 109, 25–35.
- Astraldi M., Gasparini G.P., Manzella G.M.R., and Hopkins T.S., (1990). *Temporal variability of currents in the eastern Ligurian Sea*. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 95 (C2), 1515-1522.
- Bellomo L., Griffa A., Cosoli S., Falco P., Gerin R., Iermano I., Kalampokis A., Kokkini Z., Lana A., Magaldi M.G., Mamoutos I., Mantovani C., Marmain J., Potiris E., Sayol J.M., Barbin Y., Berta M., Borghini M., Bussani A., Corgnati L., Dagneaux Q., Gaggelli J., Guterman P., Mallarino D., Mazzoldi A., Molcard A., Orfila A., Poulain P.-M., Quentin C., Tintoré J., Uttieri M., Vetrano A., Zambianchi E. and Zervakis V., (2015) *Toward an integrated HF radar network in the Mediterranean Sea to improve search and rescue and oil spill response: the TOSCA project experience*. *Journal of Operational Oceanography*, 8: 2, 95-107, <https://doi.org/10.1080/1755876X.2015.1087184>
- Bergmann M., Lutz B., Tekman M.B., and Gutow L., (2017). *Citizen scientists reveal: Marine litter pollutes Arctic beaches and affects wildlife*. *Marine pollution bulletin*, 125 (1-2), 535-540.
- Berta M., Bellomo L., Magaldi M.C., Griffa A., Molcard A., Marmain J., Borghini M., Taillandier V., (2014). *Estimating Lagrangian transport blending drifters with HF radar data and models: Results from the TOSCA experiment in the Ligurian Current (North Western Mediterranean Sea)*, *Progress in Oceanography*, 128, 15-29.
- Berta M., Griffa A., Özgökmen T.M., and Poje A. C., (2016). *Submesoscale evolution of surface drifter triads in the Gulf of Mexico*. *Geophysical Research Letters*, 43 (22), 11-751.
- Carle E., (2008). *10 Little Rubber Ducks*, HarperCollins, p. 34, ISBN 0-06-074078-7.

- Casella E., Molcard A., and Provenzale A., (2011). *Mesoscale vortices in the Ligurian Sea and their effect on coastal upwelling processes*. *Journal of Marine Systems*, 88 (1), 12-19.
- Centurioni L.R., (2018). *Drifter technology and impacts for sea surface temperature, sea-level pressure, and ocean circulation studies*. In: *Observing the Oceans in Real Time*, Springer, Cham, pp. 37-57.
- Cingolani A.M., Barberá I., Renison D., Barri F.R., (2016). *Can persuasive and demonstrative messages to visitors reduce littering in river beaches?* *Waste Management*, 58, 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.028>. Epub 2016 Sep 6. PMID: 27613415.
- Crippa M., De Wilde B., Koopmans R., Leyssens J., Linder M. et al., (2019). *A circular economy for plastics: Insights from research and innovation to inform policy and funding decisions*. European Commission EC. <https://doi.org/10.2777/269031>
- Dąbrowska A., (2021). *Marine Microplastics in Polar Region—a Spitsbergen Case Study*. *Water Air Soil Pollut* 232, 393. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05346-2>
- Dagestad K.F., Röhrs J., Breivik Ø., and Ådlandsvik B., (2018). *OpenDrift v1. 0: a generic framework for trajectory modelling*. *Geoscientific Model Development*, 11 (4), 1405-1420.
- Davis J., (2004). *Rubber Duckie*, Perseus Book Group. ISBN 0-7624-1836-2.
- De Dominicis M., Bruciaferri D., Gerin R., Pinardi N., Poulain P.M., Garreau P., Zodiatis G., Perivoliotis L., Fazioli L., Sorgente R., and Manganiello C., (2016). *A multi-model assessment of the impact of currents, waves and wind in modelling surface drifters and oil spill*. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 133, 21-38.
- Ebbesmeyer C.C., and Ingraham W.J., (1994). *Pacific toy spill fuels ocean current pathways research*. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 75 (37), 425-430.
- Ebbesmeyer C.C., Ingraham W.J., Royer T.C., and Grosch C.E., (2007). *Tub toys orbit the Pacific subarctic gyre*. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 88 (1), 1-4.
- Ebbesmeyer C., (2010). *Flotsametrics and the Floating World*, HarperCollins. p. 304, ISBN 0-06-155842-7.
- Henschenius G., Papebrochius D., (1685). *Acta Sanctorum, Maii, IV, Antverpiae*, p. 6.
- EU SUP Directive (2019). *Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/904/oj>
- European Environmental Agency, (2015). *Marine Litter in EU-Top Items*, (Last modified 23 Mar 2022), <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/sds/top-10-marine-litter-items/@@view>
- Garcia-Soto C., Seys J.J., Zielinski O., Busch J.A., Luna S.I., Baez J.C., Domegan C., Dubsky K., Kotynska-Zielinska I., Loubat P., Malfatti F., Mannaerts G., McHugh P., van der Meeren G.I. and Gorsky G., (2021). *Marine Citizen Science: Current state in Europe and new technological developments*. *Frontiers in Marine Science*, 241. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.621472>
- Hartley B.L., Thompson R.C., and Pahl S., (2015). *Marine litter education boosts children's understanding and self-reported actions*. *Marine Pollution Bulletin*, 90 (1-2), 209-217.
- Hartley B.L., Pahl S., Veiga J.M., Vlachogianni T., Vasconcelos L. et al., (2018). *Exploring public views on marine litter in Europe: perceived causes, consequences and pathways to change*. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 95–955.
- Hohn D., (2011). *Moby-Duck*, Scribe Publications, ISBN 1-921844-34-5. <https://harpers.org/archive/2007/01/moby-duck/>
- Huber J., Viscusi W., Bell J., (2020). *Dynamic relationships between social norms and pro-environmental behaviour: Evidence from household recycling*. *Behavioural Public Policy*, 4 (1), 1-25.
- Hutner P., Helbig C., Stindt D., Thorenz A., Tuma A., (2018). *Transdisciplinary Development of a Life Cycle-Based Approach to Measure and Communicate Waste Prevention Effects in Local Authorities*. *Journal of Industrial Ecology*, 22, 1050-1065.
- Iacono R., and Napolitano E., (2020). *Aspects of the summer circulation in the eastern Ligurian Sea*. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 166, 103407.

- Lebreton L., van der Zwet J., Damsteeg JW. et al., (2017). *River plastic emissions to the world's oceans*. Nature Communications, 8, 15611. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- Lumpkin R., and Johnson G.C., (2013). *Global ocean surface velocities from drifters: Mean, variance, El Niño–Southern Oscillation response, and seasonal cycle*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 118 (6), 2992-3006.
- Lumpkin R., Özgökmen T., and Centurioni L. (2017). *Advances in the application of surface drifters. Annual review of marine science*, 9, 59-81.
- McGregor S., Timmermann A., and Timm O., (2010). *A unified proxy for ENSO and PDO variability since 1650*. Clim. Past, 6, 1–17.
- McKinley E., Fletcher S., (2012). *Improving marine environmental health through marine citizenship: A call for debate*. Marine Policy, 36 (3), 839-843.
- Meijer L.J., van Emmerik T., van der Ent R., Schmidt C., and Lebreton L., (2021). *More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean*. Science Advances 7(18), 5803.
- Merlino, S., Locritani, M., Stroobant, M., Mioni, E., & Tosi, D. (2015). *SeaCleaner: focusing citizen science and environment education on unraveling the marine litter problem*. Marine Technology Society Journal, 49, 99–118. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.49.4.3>
- Merlino S, Locritani M, Guarneri A, Delrosso D, Bianucci M, Paterni M., (2023). *Marine Litter Tracking System: A Case Study with Open-Source Technology and a Citizen Science-Based Approach*. Sensors. 23(2):935. <https://doi.org/10.3390/s23020935>
- Meyer D., (2016). *Glider technology for ocean observations: A review*. Ocean Science Discussions, pp. 1-26.
- Niiler P.P., Sybrandy A.S., Bi K., Poulain P.M., and Bitterman D., (1995). *Measurements of the water-following capability of holey-sock and TRISTAR drifters*. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 42 (11-12), 1951-1964.
- Picco P., Cappelletti A., Sparnocchia S., Schiano M.E., Pensieri S., and Bozzano R., (2010). *Upper layer current variability in the Central Ligurian Sea*. Ocean Science, 6 (4), 825-836.
- Pierini S., and Simioli A., (1998). *A wind-driven circulation model of the Tyrrhenian Sea area*. Journal of Marine Systems, 18 (1-3), 161-178.
- Poeta G., Conti L., Malavasi M., Battisti C., and Acosta A.T.R., (2016). *Beach litter occurrence in sandy littorals: The potential role of urban areas, rivers and beach users in central Italy Estuarine*. Coastal and Shelf Science 181, 231e237
- Poulain P.M., and Zambianchi E., (2007). *Surface circulation in the central Mediterranean Sea as deduced from Lagrangian drifters in the 1990s*. Continental Shelf Research, 27 (7), 981-1001.
- Poulain P.M., Gerin R., Mauri E., and Pennel R., (2009). *Wind effects on drogued and undrogued drifters in the eastern Mediterranean*. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 26 (6), 1144-1156.
- Poulain P.M., Gerin R., Rixen M., Zanasca P., Teixeira J., Griffa A., Molcard A., De Marte M., Pinardi N., (2012). *Aspects of the surface circulation in the Liguro-Provençal basin and Gulf of Lion as observed by satellite-tracked drifters (2007-2009)*. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, 53 (2).
- Rayon-Viña F., Miralles L., Gómez-Agenjo M., Dopico E. and, Garcia-Vazquez E., (2018). *Marine litter in south Bay of Biscay: Local differences in beach littering are associated with citizen perception and awareness*. Marine Pollution Bulletin, 131, Part A, 727-735.
- Rech S., Macaya-Caquilpán V., Pantoja J.F., Rivadeneira M.M., Madariaga D.J., and Thiel M., (2014). *Rivers as a source of marine litter—a study from the SE Pacific*. Marine Pollution Bulletin, 82(1-2), 66-75.
- Roemmich D., Johnson G.C., Riser S., Davis R., Gilson J., Owens W.B., Garzoli S.L., Schmid C. and Ignaszewski M., (2009). *The Argo Program: Observing the global ocean with profiling floats*. Oceanography, 22 (2), 34-43.

- Schroeder K. et al., (2012). *Targeted Lagrangian sampling of submesoscale dispersion at a coastal frontal zone*. Geophysical Research Letters, 39 (11).
- Sciascia R., Berta M., Carlson D.F., Griffa A., Panfili M., La Mesa M., Corgnati L., Mantovani C., Domenella E., Fredj E., Magaldi M.G., D'Adamo R., Pazienza G., Zambianchi E., and Poulain P.-M., (2018). *Linking sardine recruitment in coastal areas to ocean currents using surface drifters and HF radar: a case study in the Gulf of Manfredonia, Adriatic Sea*. Ocean Sci., 14, 1461–1482, <https://doi.org/10.5194/os-14-1461-2018>
- Septianto F. and Lee M.S.W., (2020). *Emotional responses to plastic waste: Matching image and message framing in encouraging consumers to reduce plastic consumption*. Australasian Marketing Journal, 28 (1), 18-29.
- Sherrington D.C., Xirou H., Bapasola A., Gillie H., Elliott L. and, Lee T., (2021). *Information Document for the Preparation of Guidelines to Tackle Single-use Plastic Items in the Mediterranean*. Eunomia Report for SCP/RAC.
- Subbaraya S., Breitenmoser A., Molchanov A., Muller J., Oberg C., Caron D.A., and, Sukhatme G.S., (2016). *Circling the seas: Design of Lagrangian drifters for ocean monitoring*. IEEE robotics and automation magazine, 23 (4), 42-53.
- Umgiesser G., Ferrarin C., Cucco A., De Pascalis F., Bellafiore D., Ghezzi M., and Bajo M. (2014). *Comparative hydrodynamics of 10 Mediterranean lagoons by means of numerical modelling*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 119(4), 2212–2226. <https://doi.org/10.1002/2013JC009512>
- Van Emmerik T., and Schwarz A. (2020). *Plastic debris in rivers*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water. 7 (1), e1398. <https://doi.org/10.1002/wat2.1398>
- Vegter A.C., Barletta M., Beck C., Borrero J., Burton H., Campbell M.L., Costa M.F., Eriksen M., Eriksson C., Estrades A., Gilardi K.V.K., Hardesty B.D., Ivar do Sul J.A., Lavers J.L., Lazar B., Lebreton L., Nichols W.J., Ribic C.A., Ryan P.G., Schuyler Q.A., Smith S.D.A., Takada H., Townsend K.A., Wabnitz C.C.C., Wilcox C., Young L.C. and, Hamann M., (2014). *Global research priorities to mitigate plastic pollution impacts on marine wildlife*. Endangered Species Research, 25, 225–247.
- Zodiatis G., De Dominicis M., Perivoliotis L., Radhakrishnan H., Georgoudis E., Sotillo M., and Mancini M., (2016). *The Mediterranean decision support system for marine safety dedicated to oil slicks predictions*. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 133, 4-20.
- Zwicker M.V., Nohlen H.U., Dalege J.M., Gruter G-J.M. and, van Harreveld F., (2020). *Applying an attitude network approach to consumer behaviour towards plastic*. Journal of Environmental Psychology, 69, 10143.

QUADERNI di GEOFISICA

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html/>

I QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html/>

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

http://istituto.ingv.it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

Coordinamento editoriale

Francesca DI STEFANO
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Progetto grafico

Barbara ANGIONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Impaginazione

Barbara ANGIONI
Patrizia PANTANI
Massimiliano CASCONI
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

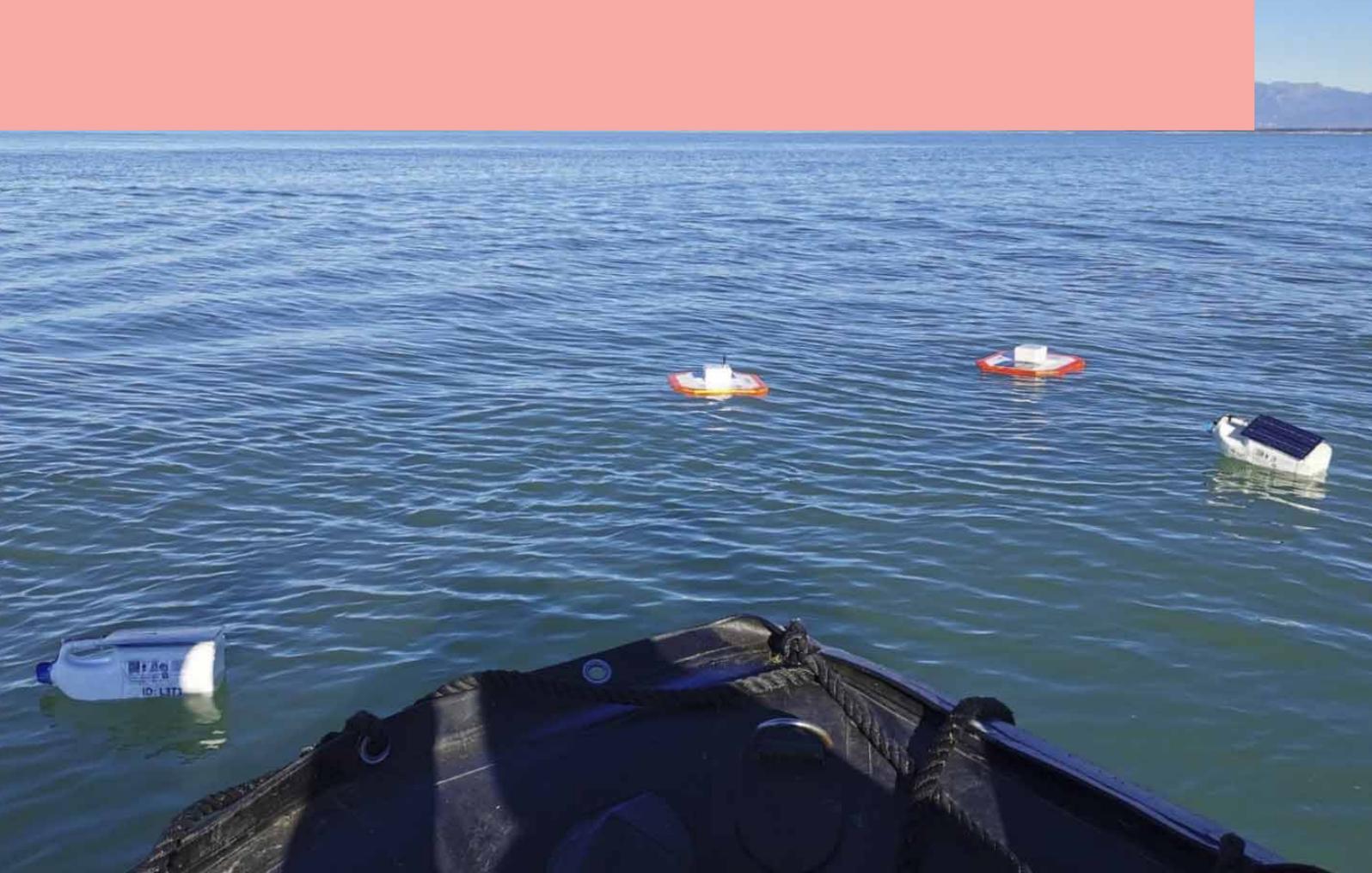
©2023

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata, 605
00143 Roma
tel. +39 06518601

www.ingv.it



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA