

## Barriere Lagrangiane superficiali nel Golfo di Trieste

*Enrile<sup>1</sup> F., Besio<sup>1</sup> G., Magaldi<sup>2,3</sup> M.G., Mantovani<sup>2</sup> C., Cosoli<sup>4</sup> S. & Poulain<sup>4</sup> P.M.*

<sup>1</sup> DICCA, Scuola Politecnica, Università di Genova, Via Montallegro 1, 16145 – e-mail: francesco.enrile@edu.unige.it

<sup>2</sup> ISMAR-CNR, Pozzuolo di Lerici, SP, Italia

<sup>3</sup> JHU, Baltimore, MD, USA

<sup>4</sup> OGS, Trieste, Italia

### SOMMARIO

Un problema di grande importanza nell'Ingegneria Ambientale consiste nella previsione del trasporto e della concentrazione di contaminanti rilasciati all'interno di un corpo idrico, per garantire la conservazione della sua naturalità da un punto di vista ecologico (preservazione della risorsa) e naturalistico (conservazione di flora e fauna). Tali problemi di mescolamento si differenziano in funzione delle caratteristiche del moto del fluido stesso (moto laminare o turbolento, presenza di convezione e dispersione) e vengono generalmente affrontati tramite lo schema diffusivo alla Fick. Chiaramente la conoscenza delle velocità del campo di moto gioca un ruolo fondamentale nell'impostazione di tali problemi. E' però vero che la conoscenza del campo di velocità in ogni punto e in qualsiasi istante temporale risolve effettivamente qualsiasi problema legato al moto di un fluido? In verità, le informazioni di maggiore interesse, ovvero legate al trasporto di materia nel campo di moto, derivano dalla conoscenza del campo di velocità, ma non sono contenute già direttamente in esso.

Si pensi ad esempio allo sversamento di petrolio in mare: le informazioni necessarie per prendere tempestivamente delle decisioni atte ad evitare l'inquinamento di una vasta area consistono innanzitutto nel conoscere la forma e la posizione che la macchia assumerà nelle ore successive. Il campo di velocità è la base di partenza per condurre tali valutazioni, non il punto di arrivo. Un possibile approccio nell'affrontare questo tipo di problematiche, alternativo allo schema di diffusione-convezione classico, consiste nel predire le traiettorie degli agenti inquinanti, schematizzati come traccianti passivi, partendo da campi di velocità ottenuti da misurazioni o simulazioni numeriche. Infatti, conoscendo il campo di velocità  $\mathbf{v}(\mathbf{x},t)$  in qualsiasi posizione  $\mathbf{x}$  e a qualsiasi tempo  $t$ , è sempre possibile calcolare la traiettoria di una particella di condizioni iniziali  $\mathbf{x}_0$  al tempo  $t_0$ . Questa prospettiva sembra corroborare il fatto che la descrizione Lagrangiana dei fenomeni di trasporto derivi sempre dal campo di velocità Euleriano. Ciò però comporta alcune difficoltà e complicazioni a causa della forte sensibilità dalle condizioni iniziali del problema: una piccola differenza nelle condizioni iniziali conduce a differenze molto più significative in tempi successivi [1]. Dato che le misure del campo di velocità e delle condizioni iniziali sono sempre affette da incertezze, le traiettorie risultano ancora più difficili da predire.

Un'altra via per comprendere il trasporto in flussi di particolare complessità consiste nello sfruttare le Strutture Lagrangiane Coerenti che agiscono come barriere al trasporto. L'idea di usare le Strutture Lagrangiane Coerenti nasce dall'incontro della teoria dei sistemi dinamici non-lineari e della meccanica dei fluidi, fornendo un mezzo per identificare curve materiali in campi di moto bidimensionali che definiscono come si configuri il processo di trasporto all'interno del campo di moto. La definizione di tali strutture è tutt'ora oggetto di ricerca [1] e quella che è stata adottata nel presente contesto è stata introdotta da *Shadden et al.* [2]. Lo scopo nell'identificare barriere Lagrangiane consiste nel dividere il campo di moto in regioni aventi differente comportamento dinamico: dal momento che agiscono come barriere al trasporto, il flusso di massa attraverso queste linee materiali è nullo e quindi traccianti passivi

liberati in regioni delimitate da tali curve rimarranno lì confinati. Si possono definire barriere di tipo repulsivo, localizzate in zone di espansione, e barriere di tipo attrattivo, localizzate in zone di contrazione. La ricerca di queste strutture è frutto della scelta di due parametri fondamentali: il tempo di integrazione e il numero di particelle da inizializzare sulla regione di interesse per condurre l'analisi. Al variare di questi due parametri il numero di strutture identificate e la loro qualità varia significativamente.

Il lavoro in oggetto consiste nel rintracciare tali strutture all'interno del Golfo di Trieste. I campi di velocità superficiali all'interno del Golfo di Trieste provengono dalla campagna di misure del progetto TOSCA [3] avente lo scopo di migliorare la risposta agli incidenti in mare, in particolare sversamenti di petrolio e operazioni di recupero e soccorso. Nel contesto di tale progetto è stata installata una rete di tre radar CODAR in grado di misurare il campo di velocità della superficie del mare. Oltre alla determinazione dei campi di velocità, il progetto TOSCA ha studiato le correnti attraverso il rilascio in mare di traccianti sperimentali, drifter, ovvero oggetti flottanti in grado di fornire la traiettoria da loro percorsa attraverso misurazioni satellitari.

Grande importanza nella determinazione delle strutture Lagrangiane, che si riflette anche sulla loro precisione, è dovuta al campo di velocità da cui parte l'analisi. Nel presente caso, esso risulta noto con una risoluzione spaziale di 1500 metri e una risoluzione temporale dell'ora, pertanto qualsiasi tipo di informazione propria di scale più piccole viene evidentemente persa. In più, non sempre il campo di velocità è costituito interamente da valori misurati ma presenta buchi preventivamente riempiti da un processo di interpolazione.

Avendo a disposizione la traiettoria seguita da diversi drifter è stato inoltre possibile effettuare un confronto tra le traiettorie dei drifter simulati con quelle reali. I risultati ottenuti mostrano come le due traiettorie tendano a divergere; comportamento, questo, che è possibile attendersi ma che risulta particolarmente significativo nel momento in cui vi sia un buco di velocità colmato con una interpolazione del tipo "nearest neighbored". Ciò è dovuto alla differenza tra i valori della velocità Euleriana del campo e la velocità Lagrangiana del drifter. Dunque si è potuto verificare se le barriere Lagrangiane ottenute possano offrire un mezzo alternativo per interpretare la traiettoria reale seguita da tali oggetti rilasciati in mare. In alcuni casi si è potuto notare come il drifter reale e quello simulato tendano sì a divergere, per le ragioni suddette, ma lungo la stessa struttura attrattiva. In aggiunta, è stata condotta una simulazione reinseminando ogni 24 ore il drifter simulato su quello reale e si è notato come, nella maggior parte dei casi, la distanza massima tra i due sulle 24 ore sia circa 6 km, mentre nella simulazione senza reinseminazione si raggiungevano distanze anche maggiori ai 20 km lungo tutto l'arco della vita del drifter.

L'identificazione delle Strutture Lagrangiane permette quindi di avere delle informazioni per l'interpretazione dell'evoluzione di contaminati: determinare la posizione delle strutture attrattive e repulsive può essere utile per valutare possibili "catture" da parte di una struttura attrattiva o eventuali "fughe" da una struttura repulsiva.

L'approccio sviluppato seguendo tale metodologia può fornire una spiegazione del perché il fenomeno in esame sia evoluto in quel particolare modo, il grande passo successivo consisterebbe nell'aver a disposizione un metodo predittivo.

#### Riferimenti bibliografici

- [1] T. Peacock, G. Haller (2013), Lagrangian Coherent Structures: the hidden skeleton of fluid flows, *Physics Today*, 66, 41-47.
- [2] S. C. Shadden, F. Lekien & J. E. Marsden (2005), Definition and properties of Lagrangian coherent structures from finite-time Lyapunov exponents in two dimensional aperiodic flows, *Physica D*, 213, 271-304.
- [3] Progetto TOSCA, [www.tosca-med.eu](http://www.tosca-med.eu)