

# Valutazione della diffusione degli inquinanti emessi da nave mediante simulazioni di scenario lungo rotte Mediterranee

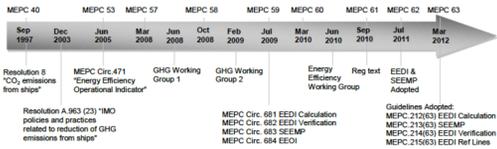
C. Busillo<sup>(1)</sup>, F. Calastrini<sup>(1,2)</sup>, A. Coraddu<sup>(3)</sup>, F. Guarnieri<sup>(1)</sup>, A. Orlandi<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Consorzio LaMMA - Sesto Fiorentino, busillo@lamma.rete.toscana.it

<sup>(2)</sup> Istituto di Biometeorologia – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Firenze, calastrini@lamma.rete.toscana.it

<sup>(3)</sup> University of Strathclyde, Glasgow, UK, andrea.coraddu@strath.ac.uk

Le sempre più stringenti norme internazionali riguardanti la mitigazione dell'impatto ambientale, insieme agli obiettivi di riduzione dei costi legati al consumo di carburante, sono i principali motori dell'adozione di misure di efficienza energetica nell'ambito della navigazione marittima internazionale. La vasta gamma di tali misure riguarda sia i nuovi criteri di progettazione navale, sia le modalità di gestione e ottimizzazione operativa della singola nave. In questo quadro, è stato sviluppato un sistema integrato di modellizzazione numerica con cui è possibile simulare i consumi, le emissioni e la dispersione di alcuni dei principali inquinanti atmosferici.



## SISTEMA MODELLISTICO INTEGRATO

Il sistema integrato di modellizzazione numerica messo a punto per questo studio, partendo da dati di previsione operativa delle condizioni meteo-marine, consente il calcolo delle prestazioni di tenuta al mare della nave, del corrispondente incremento della resistenza al moto e del conseguente regime di funzionamento dell'impianto di propulsione lungo rotte predefinite. I dati di consumo di carburante così ottenuti vengono utilizzati per stimare le emissioni dei prodotti di combustione e per caratterizzare la nave come sorgente emissiva mobile all'interno di simulazioni di dispersione di alcuni dei principali inquinanti atmosferici. Nel sistema integrato si utilizzano i modelli di previsione meteo-marina operativi presso il Consorzio LaMMA (WRF [1] per meteo e Wavewatch III [2] per onde). I dati da essi prodotti sono utilizzati sia per la simulazione delle prestazioni nave [3], sia per simulare la dispersione in atmosfera mediante i modelli CALMET-CALPUFF [4], con cui si ottengono le stime di concentrazione di PM10 primario, NOx e SOx, precursori del particolato secondario.

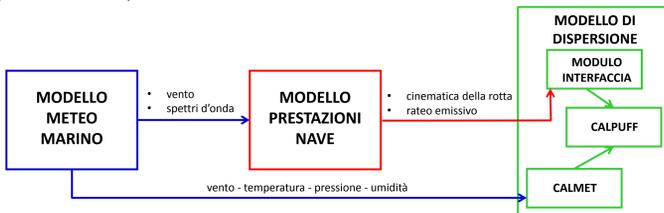


Fig.2 – Schema del Sistema modellistico integrato

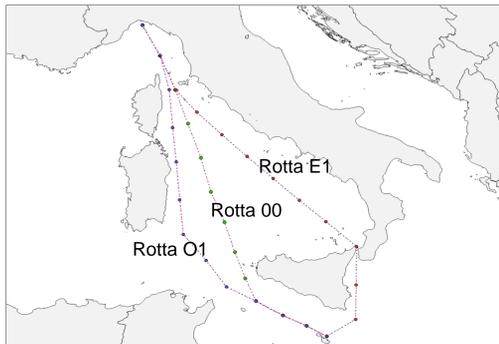


Fig.1 – Schema delle rotte analizzate (Genova - La Valletta)

CALM WEATHER				
Ship Speed [kn]	Route Name	Route Length [NM]	Voyage Duration [h]	Total Fuel [t]
18	00	585.2	32.5	81.78
18	O1	610.6	33.9	86.04
18	E1	641.1	35.6	88.32
24	00	585.2	24.4	108.96
24	O1	610.6	25.4	114.38
24	E1	641.1	26.7	117.96

HEAVY WEATHER				
Ship Speed [kn]	Route Name	Route Length [NM]	Voyage Duration [h]	Total Fuel [t]
18	00	585.2	32.5	98.16
18	O1	610.6	33.9	98.00
18	E1	641.1	35.6	108.42
24	00	585.2	24.4	131.09
24	O1	610.6	25.4	128.10
24	E1	641.1	26.7	143.59

Fig.3 – Tabella riassuntiva delle prestazioni delle navi per i casi studio analizzati

## I CASI STUDIO METEO

Nei caso-studio analizzati viene utilizzata la modellizzazione di caratteristiche realistiche tipiche di navi da trasporto passeggeri (Ro-Pax) e vengono considerate tre rotte Mediterranee alternative da Genova a La Valletta (Fig. 1), con due velocità della nave (18 e 24 kn). Sono presi in esame due scenari meteo-marini diversi, uno caratterizzato da condizioni di calma e l'altro con condizioni avverse.

Nel primo caso (27-28 Agosto 2015) la presenza di una solida area di alta pressione, centrata sul Mar Tirreno, genera condizioni di vento molto debole e mare calmo su tutta l'area di in studio (Fig. 4a).

Nel secondo caso (1-2 Ottobre 2015) una profonda depressione, il cui centro si sposta dalla Sardegna alla Corsica, genera venti molto intensi, con conseguenti stati di moto ondoso molto intensi (Fig. 4b).

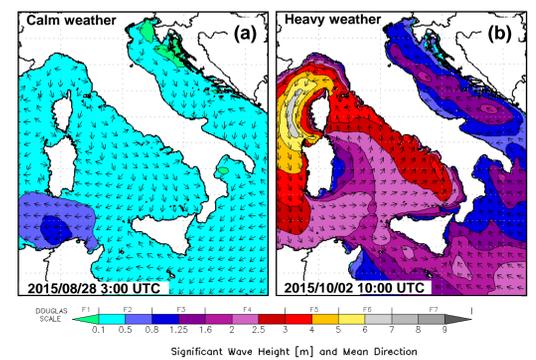


Fig.4 – Altezza significativa d'onda per il caso studio con condizioni atmosferiche stabili (sinistra) del 28 agosto 2015 3:00 UTC e avverse (destra) del 2 ottobre 2015 10:00 UTC.

## RISULTATI

L'analisi dei risultati dei casi studio esaminati può essere sintetizzata attraverso la visualizzazione di alcune mappe riportate di seguito, in cui oltre alle concentrazioni degli inquinanti (palette a destra) viene riportato anche il rateo emissivo nelle posizioni assunte dalla nave lungo le rotte, rappresentato dai puntini colorati secondo la palette in alto a sinistra. In Fig. 5, sono mostrate alcune mappe relative alla concentrazione media sulla durata di ciascun viaggio per gli inquinanti PM10, NOx, SO2 per le tre rotte. Nelle righe a) b) e c) sono mostrati risultati relativi alle condizioni di calma di vento e velocità della nave 24kn. La concentrazione di PM10 primario è inferiore e molto localizzata sulla rotta rispetto alle concentrazioni di SO2 e NOx, che risultano più disperse e raggiungono valori superiori, sebbene molto piccoli, interessando anche porzioni di terraferma, dove possono contribuire alla formazione del particolato secondario. Osservando le righe c) d) e) e f) è possibile confrontare, a parità di inquinante (NOx), il diverso comportamento del pennacchio al variare della velocità della nave e delle condizioni meteo-marine. Sebbene il rateo emissivo sia maggiore (di circa il 12-18%) nel caso di condizioni meteo-marine avverse, la forte turbolenza atmosferica favorisce una maggior dispersione degli inquinanti rispetto alla situazione di stagnazione atmosferica presente nella condizione di calma, dando quindi concentrazioni medie inferiori. A parità di condizioni meteo-marine il viaggio affrontato a velocità ridotta, sebbene di durata più lunga, ha come effetto concentrazioni medie inferiori. Confrontando le colonne di Fig. 4, le mappe evidenziano il diverso impatto delle concentrazioni di inquinanti sulla terraferma.

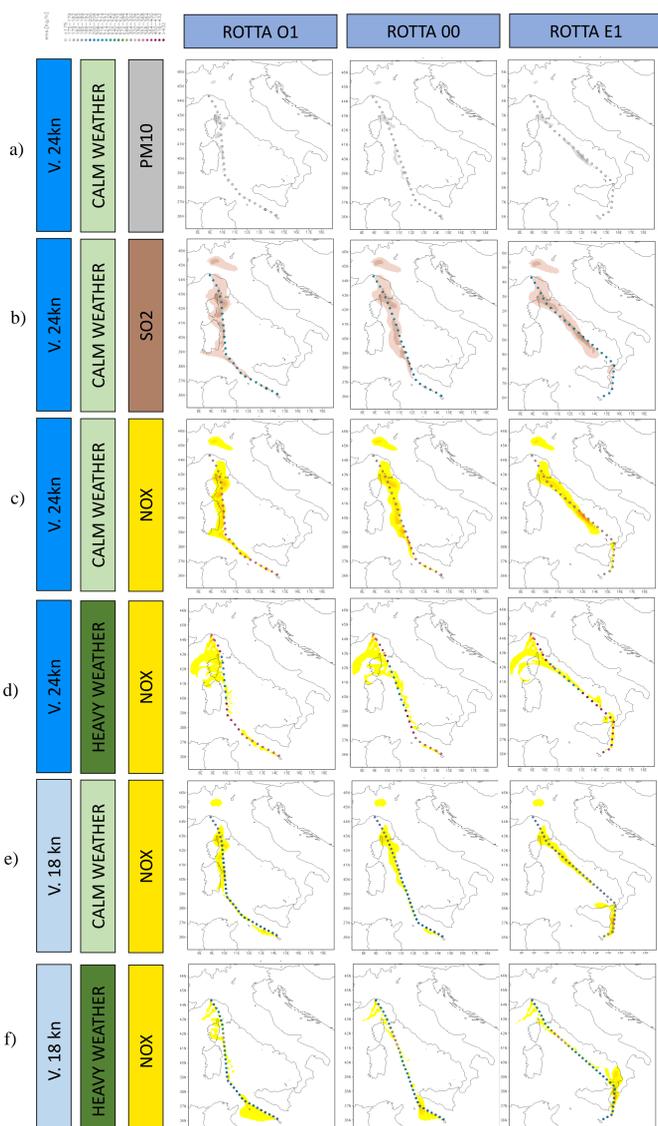


Fig. 4 – Mappe di concentrazione di PM10, SO2 e NOx medie sulla durata del tragitto nei vari casi studio.

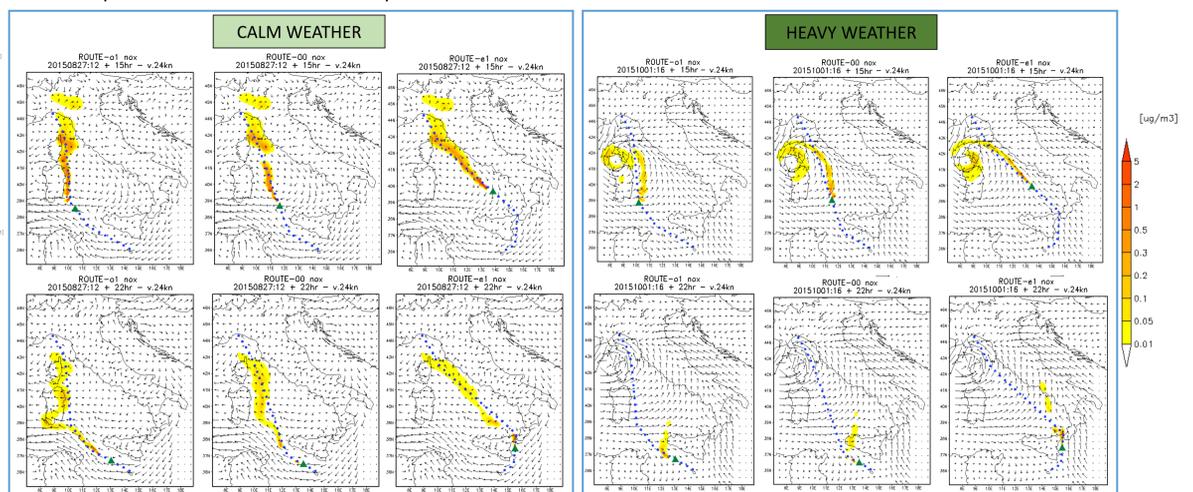


Fig. 5 – Mappe di concentrazione media oraria di NOx in condizioni di calma (sinistra) e avverse (destra) per le tre rotte.

In Fig. 5 sono mostrate alcune mappe di concentrazione media oraria di NOx per il viaggio a 24 kn sulle tre rotte, dopo 15 (alto) e dopo 22 (basso) ore dalla partenza, nel caso di condizioni calme (sinistra) e avverse (destra). Oltre alla concentrazione degli inquinanti sono mostrati anche i relativi campi di vento a 10 metri.

Nelle condizioni di calma le emissioni della nave sono inferiori, ma la presenza di alta pressione e venti deboli causano un ristagno degli inquinanti lungo le rotte. Nel caso di condizioni meteo-marine agitate, sebbene ci sia un incremento delle emissioni, la turbolenza disperde rapidamente gli inquinanti, che raggiungono anche aree lontane dalla rotta stessa.

## CONCLUSIONI

Questi primi risultati, ottenuti mediante il sistema di modellizzazione integrata sviluppato, rappresentano una prima valutazione della capacità del sistema di descrivere correttamente il comportamento delle varie componenti tecnologiche ed ambientali. In prospettiva, si valuterà la possibilità di affinare le prestazioni del sistema utilizzando un modello di dispersione euleriano (es. CAMx) in modo da considerare anche le interazioni chimiche in atmosfera.

## REFERENCES

- [1] J. J. Michalakes, et al., The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance, in George Mozdzynski (ed.) Proceedings of the 11th ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology, 25-29 October 2004, Reading U.K., 2004.
- [2] H. L. Tolman, User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14, NOAA NWS NCEP MMAB Tech. Note 276 (2009).
- [3] Orlandi, A., Integration of meteo-marine forecast data with ship seakeeping and powering computational techniques, PhD Thesis in Naval Architecture and Marine Engineering, Supervisor: Dario Bruzzone, University of Genoa, 2012.
- [4] Scire J.S., D.G. Strimatis, R.J. Yamartino. A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model. Earth Tech, Concord, MA, January, 2000.