

## MODULO PORTI

### Obiettivo

Stimare le emissioni di inquinanti atmosferici derivanti dalla navigazione in ambito nazionale ed internazionale. L'algoritmo calcola le emissioni dettagliate per: inquinante, porto e relativo comune, tipologia di combustibile, attività SNAP, tipo di imbarcazione, tipo di motore, fase di operazione, stazza della imbarcazione e tipologia di servizio del motore (es: principale o ausiliario).

### Tablelle specifiche

Nella versione corrente di INEMAR7 il modulo è implementato in 17 tablelle specifiche contraddistinte dal prefisso PO oltre alle tablelle comuni, di supporto, raccordo e decodifica del sistema INEMAR.

#### *Tablelle specifiche di codifica:*

1. PO\_FASI\_OPERATIVE: contiene la descrizione della fase di operazione ed i relativi codici ed abbreviazioni.
2. PO\_PRIORITA\_MOTORE: contiene i codici di codifica della tipologia di servizio del motore
3. PO\_TIPI\_IMBARCAZIONE: contiene la descrizione delle tipologie di imbarcazioni ed i relativi codici ed abbreviazioni
4. PO\_TIPI\_MOTORE: contiene la descrizione delle tipologie di motore ed i relativi codici ed abbreviazioni
5. PO\_NAZIONALITA: contiene i codici di codifica della classificazione SNAP delle sorgenti emissive

#### *Tablelle dei parametri dell'algoritmo:*

6. PO\_FATT\_EMISSIONE: contiene i fattori di emissione (g/t di carburante) di massimo approfondimento metodologico dettagliati per tipologia di motore e modalità di impiego, fase di operazione, tipologia di combustibile ed inquinante corredati di ulteriori campi per fattori di conversione di unità di misura (g di carburante/kWh) e riferimenti bibliografici.
7. PO\_FRAZ\_POT: contiene i coefficienti medi di carico della potenza installata dettagliati per tipo di imbarcazione, fase operazione e priorità del motore.
8. PO\_POTENZE\_CONSUMI: contiene i coefficienti specifici per tipologia di imbarcazione che permettono di stimare i consumi a meno della frazione di potenza impiegata
9. PO\_FATTORI\_TIER1: contiene i fattori di emissione (unità di misura inemar per inquinante/t di carburante) dettagliati per tipo di combustibile per gli inquinanti per i quali non è disponibile l'approccio di massimo dettaglio

#### *Tablelle di INPUT:*

10. PO\_NUM\_MOVIMENTI: contiene il numero di movimenti dettagliati per porto, tipologia di sorgente SNAP, stazza o categoria di stazza
11. PO\_PORTI: contiene i dati anagrafici del porto tra i quali, la denominazione, ISTAT comune, latitudine e longitudine espressi in formato decimale, indirizzo, telefono e mail
12. PO\_IMC: contiene le informazioni sulle imbarcazioni transittanti dettagliate per stazza (GT) e tipologia di imbarcazione
13. PO\_TEMPI\_NAVIGAZIONE: contiene il tempo di navigazione specifico per movimento espresso in ore (h) dettagliato per fase e relativo alle imbarcazioni caratterizzate nelle tablelle appena descritte
14. PO\_CARATTERISTICHE\_IMC: riporta le caratteristiche medie della flotta indicando per una determinata tipologia di imbarcazione la percentuale (espressa con valori tra 0 e 100) di ricorrenza di un determinato tipo di motore e di combustibile

#### *Tablelle di OUTPUT:*

15. PO\_FATT\_EMISSIONE\_MEDI: permette di calcolare dei fattori di emissione medi (g/kWh) per tipo di imbarcazione sulla base delle informazioni sulla flotta e dei fattori di emissione di massimo dettaglio

metodologico dettagliati per inquinante, priorità motore, fase operazione, tipo di imbarcazione, motore e combustibile

16. PO\_RIS\_DETtagliO: riporta la stima delle emissioni dettagliate per inquinante, porto e relativo comune, tipologia di combustibile, attività SNAP, tipo di imbarcazione, tipo di motore, fase di operazione, stazza della imbarcazione e tipologia di servizio del motore (es: principale o ausiliario). A ciascun record della tabella è associato un codice del tipo emissione uguale a PO.
17. PO\_RIS\_INTERMEDI: effettua un riassunto dei risultati riportando le emissioni degli inquinanti dettagliate per comune, combustibile, attività SNAP, porto e tipo di imbarcazione e codice del tipo di emissione pari a PO.

## Flusso di processo

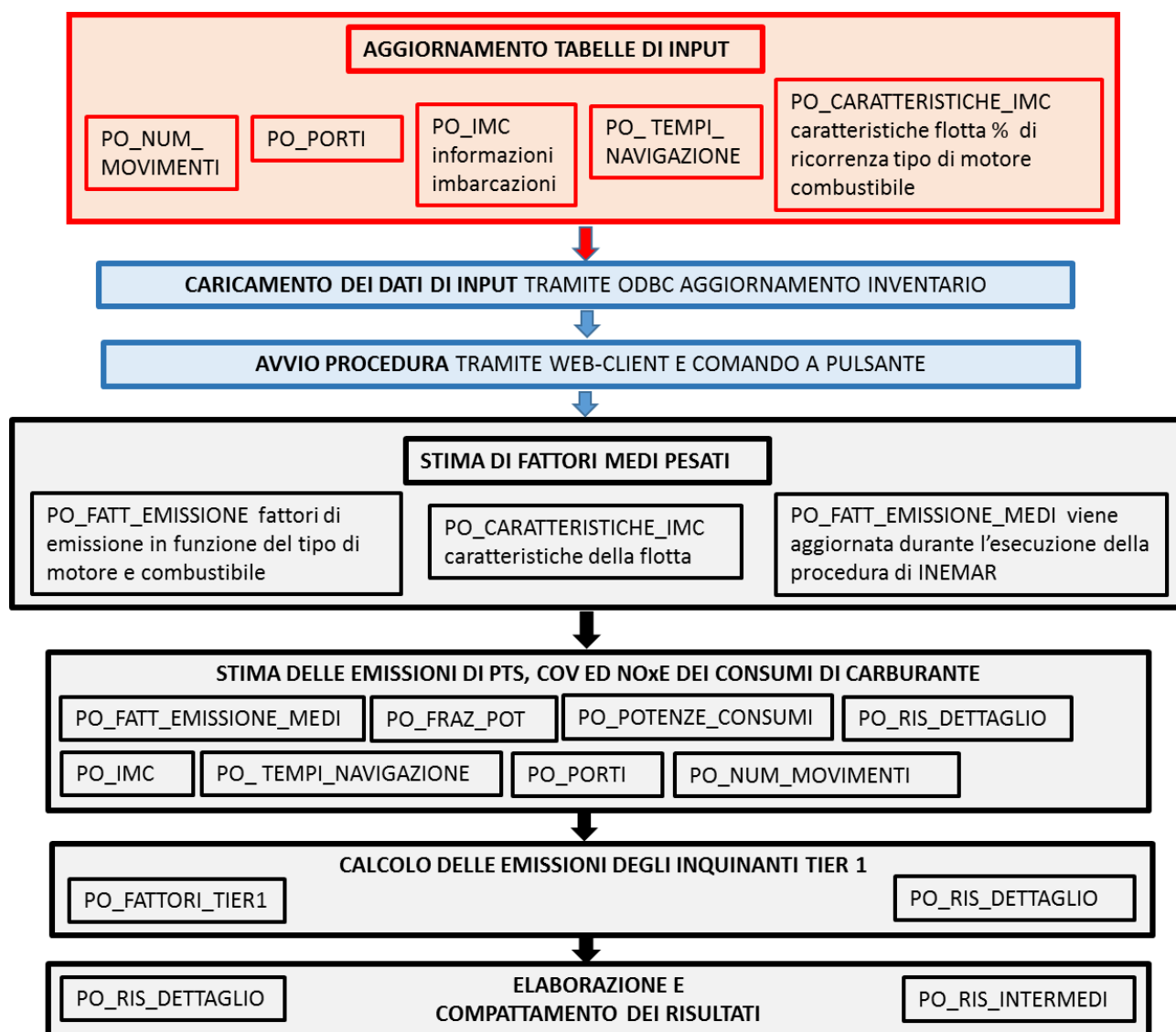
L'aggiornamento delle stime delle emissioni da navigazione è articolato nelle seguenti fasi:

*Operazioni di aggiornamento a carico degli utenti:*

- A. Aggiornamento delle tabelle di INPUT da parte dagli utilizzatori tramite il reperimento e l'elaborazione delle informazioni relative al traffico navale
- B. Caricamento generalmente tramite ODBC, dei dati di INPUT necessari all'aggiornamento dell'inventario. Alcune tabelle possono essere soggette a minori modifiche tra una edizione e l'altra come per esempio l'anagrafica dei porti. Le caratteristiche medie di flotta della tabella PO\_CARATTERISTICHE\_IMC possono essere fornite come default sulla base di caratteristiche medie ottenute da fonti bibliografiche o implementate sulla base di studi specifici dagli utilizzatori
- C. Avvio della procedura di stima tramite web-client e comando a pulsante.

*Processo di stima effettuato da INEMAR7:*

- D. Stima di fattori medi pesati sulle caratteristiche di flotta per poter effettuare la stima delle emissioni tramite approccio di maggior dettaglio tier 3. I fattori di emissione (PO\_FATT\_EMISSIONE) della metodologia impiegata sono in funzione del tipo di motore e combustibile, fase e sistema (ausiliario o principale) ma non direttamente del tipo di imbarcazione è quindi necessario utilizzare delle informazioni sulle caratteristiche delle flotte con si è alimentata la tabella PO\_CARATTERISTICHE\_IMC. In questa fase viene aggiornata durante l'esecuzione della procedura di INEMAR la tabella PO\_FATT\_EMISSIONE\_MEDI
- E. Stima delle emissioni di PTS, COV ed NOx avviene durante l'esecuzione della procedura di INEMAR tramite l'algoritmo di massimo dettaglio e con il ricalcolo dei consumi associati a ciascun movimento/fase di navigazione. L'algoritmo di maggiore dettaglio, tier 3 e fattori di emissione della tabella PO\_FATT\_EMISSIONE\_MEDI, utilizza la stima dei consumi a partire da relazioni di stima della potenza installata nei motori espressa come funzione del tonnellaggio della imbarcazione.
- F. Calcolo delle emissioni degli inquinanti di cui sono disponibili solo i fattori di emissione tipo Tier 1 sulla base delle stime di consumo di carburante effettuata al punto precedente
- G. Elaborazione e compattamento dei risultati nelle tabelle PO\_RIS\_DETtagliO e PO\_RIS\_INTERMEDI
- H. Elaborazione e compattamento dei risultati in TAB\_OUTPUT



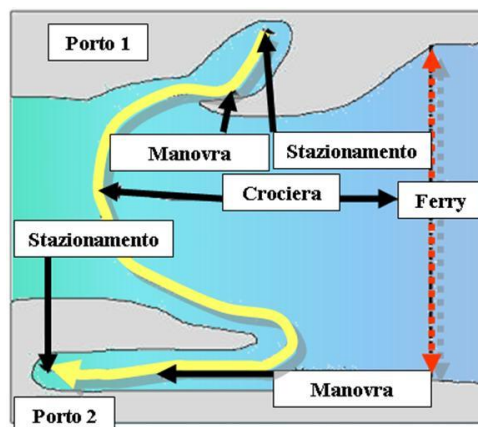
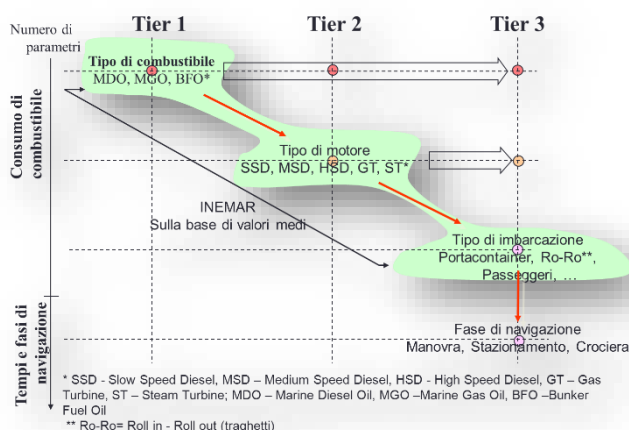
### Metodologia impiegata

La metodologia implementata permette di stimare le emissioni dalle attività di navigazione utilizzando ove possibile l'algoritmo di massimo dettaglio riportato nell'EMEP-EEA Guidebook versione del 2009/2010. L'accuratezza nella stima delle emissioni varia in funzione della tipologia degli algoritmi che le linee guida classificano come tier 1, tier 2 e tier 3 (Livello 1, livello 2, etc.). Incrementando il livello della stima, da tier 1 a tier 3 aumenta progressivamente il numero di parametri necessari. Nel caso specifico della navigazione, il primo livello considera unicamente il consumo di differenti tipologie di combustibili, il secondo livello stima le emissioni in funzione dell'uso di differenti tipologie di combustibili in differenti tipologie di propulsori, infine il terzo livello di dettaglio procede nella stima delle emissioni considerando differenti tipologie di imbarcazioni (con corrispondenti caratteristiche dei propulsori in termini di motori e combustibili ed anche di funzioni ausiliarie) e le fasi di navigazione.

Secondo quanto riportato dalla documentazione EMEP-EEA l'algoritmo tier 3 è utilizzabile solo per gli inquinanti: PTS, COV ed NOx mentre per tutti gli altri si rimanda agli approcci più semplificati. In INEMAR7 è stato implementato un approccio tier 3 dove la parte maggiormente critica, è rappresentata dalla procedura di stima del consumo di combustibile o dal calcolo della potenza dei motori installati nell'imbarcazione.

Il Modulo e l'algoritmo di stima delle emissioni da traffico marittimo hanno subito differenti aggiornamenti in accordo a quanto pubblicato dall'Atmospheric Emission Inventory Guidebook. La prima versione della metodologia di stima è stata applicata ed implementata nel 2006 dal Dipartimento Provinciale di Venezia di

A.R.P.A.V. ed era basata sull'approccio MEET (Methodology for Estimate air pollutant Emissions from Transport, Trozzi e Vaccaro 1998-2006).



#### • Tipologia delle sorgenti emissive

Le principali sorgenti emissive trattate sono classificate al settore SNAP 8.4 attività marittime, l'approccio sviluppato può anche essere esteso, tramite opportuno aggiornamento della base di calcolo, alla stima delle emissioni derivanti dalla navigazione delle vie interne settore SNAP 8.3.

Ai fini della stima delle emissioni, il percorso compiuto da una nave può essere scomposto in differenti modalità operative, definite nella tabella PO\_FASI\_OPERATIVE, queste possono comprendere: crociera, manovra, stazionamento, attività di rifornimento delle navi cisterna e l'impiego di sistemi ausiliari.

Nella metodologia impiegata e coerentemente con i dati a disposizione il traffico marittimo è descritto mediante le prime 3 fasi impiegando le assunzioni del manuale EMEP-EEA sulle modalità di impiego dei motori ausiliari. Ne consegue che le emissioni determinate dai motori delle imbarcazioni possono essere assimilate a sorgenti puntuali o areali-diffuse nel caso dello stazionamento e della manovra ed a sorgenti lineari nel caso della fase di crociera.

#### • Indicatori utilizzabili nel modulo da parte degli utilizzatori

Le informazioni necessarie sul traffico portuale possono essere ottenute dalle autorità portuali e capitanerie di porto e prevedono delle elaborazioni dei dati sui movimenti delle imbarcazioni come per esempio: luogo di partenza, luogo di arrivo, ora di partenza ed ora di arrivo per ciascuna imbarcazione. Questo può essere fatto per l'intero anno di inventario o su un campione rappresentativo dell'anno, riferito a tutte le imbarcazioni o rappresentativo delle categorie principali delle imbarcazioni per una determinata flotta. La scelta in questo ambito dipende dalle sorgenti di dati disponibili e dal livello di accuratezza che si vuole raggiungere.

I dati relativi ai movimenti delle imbarcazioni sono inseriti nelle tabelle: PO\_NUM\_MOVIMENTI e PO\_PORTI. Ciascuna imbarcazione è caratterizzata in queste tabelle dal campo FK\_ID\_IMC. Questo campo è collegato nella tabella PO\_IMC al tipo di imbarcazione FK\_ID\_TIPO\_IMBARCAZIONE ed alla stazza lorda STAZZA\_LORDA (GT).

Per le fasi di crociera è necessario determinare le rotte di navigazione e/o la distanza tra i porti. Questo può essere effettuato individualmente o considerando le principali rotte di navigazione. Un sistema geo referenziato GIS può essere utile. Se il sistema GIS non è disponibile, esistono delle tabelle di distanza standard tra i principali porti (Thomas Reed Publications, 1992). Le principali rotte di navigazione sono disponibili nelle pubblicazioni dell'IMO. Questi dati sono necessari nel calcolo delle emissioni nella fase di crociera.

Per completare i dati di INPUT all'algoritmo è quindi necessario determinare il tempo totale di navigazione per ciascuna tipologia di imbarcazione definita tramite categoria e stazza nella tabella PO\_IMC e fase di navigazione. Questo livello di informazioni è fornito nella tabella PO\_TEMPI\_NAVIGAZIONE dove a ciascun ID\_IMC e per ciascuna fase sono definiti i tempi in ore specifici per movimento. Questi possono essere

ottenuti come media pesata sul movimento nello stesso porto di imbarcazioni dello stesso tipo a parità di stazza.

- *Algoritmo di stima delle emissioni*

Al fine di applicare l'algoritmo di massimo dettaglio per la stima delle emissioni di PTS, COV ed NOx è definita la tabella PO\_CARATTERISTICHE\_IMC che può essere popolata sia con dati medi di flotta, reperibili da fonti bibliografiche, che da elaborazioni ad hoc effettuate dagli utilizzatori. Nella tabella PO\_CARATTERISTICHE\_IMC sono quindi riportata la diffusione percentuale di una determinata tipologia di motore e carburante alimentato per tipologia di imbarcazione.

Sulla base dei dati della tabella PO\_CARATTERISTICHE\_IMC e dei fattori di emissione della PO\_FATT\_EMISSIONE dati sono calcolati dei fattori di emissione medi per tipo di imbarcazione, tipo di motore e combustibile. Il principio di stima è quello relativo al calcolo di una media pesata dove non viene effettuata però una aggregazione per tipo di imbarcazione permettendo di identificare il contributo alle emissioni delle tipologie di combustibili e dei differenti motori, il valore di FATTORE\_EMISSIONE\_MEDIO nella tabella PO\_FATT\_EMISSIONE\_MEDI è quindi definita come segue:

$$\begin{aligned} \mathbf{FATTORE\_EMISSIONE\_MEDIO}_{i,j,m,k,l,n}[\mathbf{g/kWh}] \\ = \mathbf{FATTORE\_EMISSIONE}_{i,j,l,m,n}[\mathbf{g/t\ di\ carburante}] \times \frac{\mathbf{PERC\_MOT}_{i,j,k}}{\mathbf{100}} \\ \times \mathbf{FATT\_CONV}_{i,j,l,m,n}[\mathbf{g\ di\ carburante/kWh}] \times 10^{-6} \end{aligned}$$

i = tipo di motore

j = tipo di combustibile

m = priorità motore (ausiliario o principale)

k = tipo di imbarcazione

l = inquinante

n = fase di navigazione

dove PERC\_MOT descrive la presenza di determinati motori e combustibili per tipologia di imbarcazione. il valore di FATTORE\_EMISSIONE è espresso in g/t di carburante FATT\_CONV è definito in g di carburante/kWh, di conseguenza FATTORE\_EMISSIONE\_MEDIO è espresso per ciascun record della tabella PO\_FATT\_EMISSIONE\_MEDI in g/kWh.

L'algoritmo implementato prevede la stima della potenza media installata per ciascun tipo di imbarcazione  $P_k$  espressa in kW. La metodologia si basa sull'utilizzo di una funzione esponenziale che coinvolge due parametri  $a_k$  e  $b_k$ , funzione del tipo di imbarcazione  $k$  e riportati nella tabella PO\_POTENZE\_CONSUMI, che sono impiegati con la stazza lorda GT dell'imbarcazione considerata (riportata nella tabella PO\_IMC).

$$P_k[\mathbf{kW}] = a_k \times GT_r^{b_k}$$

La potenza installata stimata per tipologia di imbarcazione viene modulata in funzione di una frazione di carico definita nella tabella PO\_FRAZ\_POT dove sono definite le frazioni di potenza (valori compresi tra 0 ed 1, dove sono riportate anche le stime per i motori ausiliari) in funzione della priorità del motore del tipo di imbarcazione e della fase di navigazione: **FRAZIONE\_POTENZA** $_{m,k,n}$

Le procedure di INEMAR, dopo avere aggiornato la tabella PO\_FATT\_EMISSIONE\_MEDI procedono con la stima tier 3 delle emissioni di PTS, COV ed NOx combinando al fattore di emissione, la potenza della imbarcazione, la frazione di carico e differenti fattori moltiplicativi che considerano il numero di movimenti per ciascun tipo di imbarcazione, il tempo di navigazione e la frazione di potenza (già scalata rispetto alla frazione di utilizzo dei motori ausiliari). La seguente equazione descrive questa fase:

$$\begin{aligned}
 \text{VALORE\_EMISSIONE}_{i,j,m,k,l,n,o,p,q,r}[t] \\
 &= \text{FATTORE\_EMISSIONE\_MEDIO}_{i,j,m,k,l,n}[g/kWh] \times a_k \times GT_r^{b_k} \\
 &\times \text{FRAZIONE\_POTENZA}_{m,k,n} \times \text{TEMPO\_NAVIGAZIONE}_{n,r}[h] \times \text{NUMERO\_IMC}_{p,q,r} \\
 &\times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

i = tipo di motore

j = tipo di combustibile

m = priorità motore (ausiliario o principale)

k = tipo di imbarcazione

l = inquinante

n = fase di navigazione

o = comune

p = porto

q = attività SNAP

r = imbarcazione (ID\_IMC)

dove il TEMPO\_NAVIGAZIONE è il dato di INPUT inserito dall'utente nella tabella PO\_TEMPI\_NAVIGAZIONE ed il NUMERO\_IMC il numero di movimenti nel porto, per attività SNAP ed imbarcazione definito nella tabella PO\_IMC.

In questa fase la procedura interessa la tabella PO\_RIS\_DETTagLIO aggiornando i valori del campo: **VALORE\_EMISSIONE**<sub>i,j,m,k,l,n,o,p,q,r</sub>

L'utilizzo della metodologia semplificata, è consigliata dalle linee guida per gli inquinanti non considerati dalla precedente procedura (PTS, COV e NOx). Tuttavia in questo caso la procedura è basata sul consumo totale di combustibile e non sulla potenza installata nelle imbarcazioni.

Nel caso di utilizzo di fattori di emissione tier 1 è necessario impiegare la tabella PO\_FATTORI\_TIER1 dove i fattori di emissione sono specifici per inquinante e per tipologia di carburante. A valle della esecuzione dell'algoritmo tier 3 è quindi stata predisposta una procedura di calcolo dei consumi di carburante, le cui stime sono riportate in tabella PO\_RIS\_DETTagLIO:

$$\begin{aligned}
 \text{CONSUMI}_{i,j,m,k,l,n,o,p,q,r}[t \text{ di carburante}] \\
 &= \frac{\text{VALORE\_EMISSIONE}_{i,j,m,k,l,n,o,p,q,r}[t]}{\text{FATTORE\_EMISSIONE}_{i,j,l,m,n}[g/t \text{ di carburante}]} \times 10^6
 \end{aligned}$$

Dove il parametro FATTORE\_EMISSIONE è quello riportato in tabella PO\_FATT\_EMISSIONE. I consumi così ottenuti sono impiegati in combinazione con i FATTORE\_EMISSIONE della tabella PO\_FATTORI\_TIER1, andando ad aggiungere altre stime al campo VALORE\_EMISSIONE della tabella PO\_RIS\_DETTagLIO:

$$\begin{aligned}
 \text{VALORE\_EMISSIONE}_{i,j,m,k,l,n,o,p,q,r}[\text{unità di misura inemar per inquinante}] \\
 &= \text{CONSUMI}_{i,j,m,k,l,n,o,p,q,r}[t \text{ di carburante}] \times \text{FATTORI\_TIER1}_{j,l} \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

Le stime emissive della tabella PO\_RIS\_DETTagLIO sono poi compattati nella tabella PO\_RIS\_INTERMEDI secondo la seguente procedura:

$$\text{VALORE\_EMISSIONE}_{j,k,l,o,p,q} = \sum_{i,m,n,r} \text{VALORE\_EMISSIONE}_{i,j,m,k,l,n,o,p,q,r}$$

- Output del modello nelle tabelle generali di INEMAR

Dai valori riportati in VALORE\_EMISSIONE<sub>j,k,l,o,p,q</sub> sono ottenute delle aggregazioni dettagliate per attività, comune, inquinante, combustibile che sono impiegate per aggiornare le tabelle generali TAB\_OUTPUT, i cui record saranno caratterizzati dal tipo emissione AG.

### **Bibliografia**

European Commission - “Quantification of ship emission associated with ship movements between ports in the European Community” (summary and chapter 1 e 2), Final Report – Luglio 2002  
[http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/chapter2\\_ship\\_emissions.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/chapter2_ship_emissions.pdf)

Dipartimento Provinciale di Venezia di A.R.P.A.V., “Le emissioni da attività portuale” - febbraio 2007,  
[http://www.arpa.veneto.it/dapve/docs/Relazione\\_tecnica\\_emissioni\\_portuali.pdf](http://www.arpa.veneto.it/dapve/docs/Relazione_tecnica_emissioni_portuali.pdf)

Techne Consulting – Carlo Trozzi, Rita Vaccaro - Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships - report MEET RF98 - August 1998

Techne Consulting - Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships: a 2006 update - Environment & Transport, 2th International Scientific Symposium (including 15th conference Transport and Air Pollution) - Reims, France : 12-14 June 2006

European Environmental Agency EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook 2006  
<http://reports.eea.europa.eu/EMEPCORINAIR4/en/page009-a.html>

EMEP/EEA emission inventory guidebook 2009 (ed: 2010), International navigation, national navigation, national fishing and military (shipping)