



**Stima emissioni in atmosfera del traffico navale  
nel porto di Venezia  
Anno 2019**

**ARPAV**

**Direttore Generale**

Loris Tomiato

**Dipartimento Regionale Qualità dell'Ambiente**

Rodolfo Bassan

**Progetto e realizzazione**

Unità Organizzativa Qualità Aria

***Dr.ssa Francesca Liguori, Dr.ssa Silvia Pillon, Dr.ssa Silvia Pistollato, Dr.ssa Laura Susanetti,  
Dr.ssa Consuelo Zemello***

I dati di traffico marittimo e di consumo di carburante dei rimorchiatori sono stati forniti dall'Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Settentrionale.

E' consentita la riproduzione di testi, tabelle, grafici ed in genere del contenuto del presente rapporto esclusivamente con la citazione della fonte.

## Sommario

Premessa	4
Breve inquadramento del Porto di Venezia	4
Metodologia di stima e software di calcolo	5
Dati di origine e processamento per il calcolo di stima	7
Risultati	9
Interconfronti tra le annualità di stima disponibili per l'ultimo decennio	11
Applicazione della stima: confronto con le concentrazioni misurate	16
Conclusioni	21
Riferimenti bibliografici essenziali e sitografia	22

## Premessa

La relazione presenta la stima delle emissioni in atmosfera prodotte dal traffico navale del porto di Venezia relativo all'anno 2019.

La stima delle emissioni atmosferiche del traffico navale a Venezia è effettuata da ARPAV da alcuni anni in corrispondenza dell'aggiornamento periodico dell'Inventario Regionale INEMAR Veneto. La prima stima disponibile risale al traffico navale dell'anno 2005; successive edizioni disponibili sono quelle degli anni 2008, 2010, 2013, 2015 e 2017.

Nell'elaborazione stima relativa all'anno 2019, qui presentata, ARPAV ha potuto avvalersi della collaborazione con l'Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Settentrionale (d'ora innanzi AdSPMAS), che si è in particolare occupata di fornire i dati e le informazioni necessarie per la ricostruzione del database delle toccate navali e la caratterizzazione del servizio di assistenza alla navigazione prestato dai rimorchiatori.

La collaborazione tra AdSPMAS ed ARPAV, siglata ai sensi dell'art. 15 della Legge 241/90 a fine 2018 e valevole per 48 mesi, ha l'obiettivo di approfondire la conoscenza della qualità dell'aria nel territorio comunale di Venezia relativamente alla problematica delle emissioni atmosferiche legate al traffico navale.

Rispetto alle precedenti stime edite per INEMAR Veneto, grazie alla collaborazione in questione si è potuto affrontare e superare la problematica connessa ad un diverso e minor grado di dettaglio delle informazioni presenti nel database dei movimenti navali rispetto alle annualità precedenti e, al contempo, approfondire la componente emissiva derivante dalle attività dei rimorchiatori.

Le stime prodotte e qui discusse, saranno inoltre successivamente valorizzate per il proseguo delle attività dell'accordo di collaborazione e, in particolare, per gli approfondimenti relativi situazione allo stato della qualità dell'aria registrato dalle stazioni di monitoraggio di Sacca Fisola e Rio Novo (rif. Punto 13 art. 2 accordo).

## Breve inquadramento del Porto di Venezia

Il porto di Venezia si sviluppa in 3 aree principali di approdo all'interno della Laguna di Venezia: Porto Marghera, San Leonardo e Venezia centro storico.

La Laguna di Venezia è collegata al Mare Adriatico attraverso tre ingressi, denominati bocche di porto che rispettivamente da Nord a Sud sono quelle di Lido, di Malamocco e di Chioggia (vedi mappa a seguire).

Gli approdi di Porto Marghera, storicamente dedicati alle attività logistiche, commerciali e industriali e il terminal di Fusina, dedicato alle navi traghetto, sono raggiunti attraverso la Bocca di Malamocco così come gli approdi di San Leonardo dedicati alle navi petroliere; gli approdi di Venezia insulare, essenzialmente dedicati alle navi passeggeri, comprese le navi crociera in approdo alla Marittima e San Basilio/Santa Marta, sono raggiunti attraverso il transito dalla Bocca di Lido

L'ambito veneziano, dedicato ai passeggeri, si estende su una superficie di oltre 26 ettari, mentre il terminal traghetti di Fusina si sviluppa su 36 ettari.

Nel 2019 il porto di Venezia ha fatto registrare una capacità di circa 600.000 TEU, 1'800'000 passeggeri in totale (come somma di crociere e traghetti)<sup>1</sup> e circa 3'400 toccate.

---

<sup>1</sup> Fonte dati [https://www.port.venice.it/files/page/portofvenice4-2019\\_0.pdf](https://www.port.venice.it/files/page/portofvenice4-2019_0.pdf)



## Metodologia di stima e software di calcolo

Le stime emissive sono effettuate applicando un software di calcolo elaborato da ARPAV che implementa la metodologia europea di riferimento descritta nell'“EMEP/EEA air pollutant emission inventory guide book” per la stima degli inquinanti aeriformi del trasporto navale (EMEP/EEA Capitolo 1.A.3.d; GBK EMEP nel seguito). Il software di calcolo, denominato Bottom Up Harbour (BUH) originariamente sviluppato per i progetti MED APICE e CAIMANs, è stato recentemente aggiornato per implementare la versione 2019 del GBK EMEP così come aggiornata nell'ottobre 2020 (EMEP/EEA, 2020).

Il software utilizza come dati di partenza il database delle toccate delle navi e i relativi tempi di stazionamento e di manovra, nonché la lunghezza del tragitto di navigazione, se è di interesse calcolare anche le emissioni in fase di crociera. La stima tiene conto del tonnellaggio e della tipologia di ciascuna nave. Dati statistici di flotta vengono assunti per l'applicazione di fattori di emissione che dipendono dal tipo di motore e dal tipo di combustibile impiegato.

Il GBK EMEP attualmente implementato nel BUH distingue solo due categorie di carburanti: BFO (Bunker Fuel Oil) e MDO-MGO (Marine Diesel Oil - Marine Gas Oil), dove questi ultimi distillati sono trattati indistintamente<sup>2</sup>.

Gli inquinanti stimati dal software BUH sono:

- NO<sub>x</sub>, NMVOC, PM e consumo di carburante, stimati utilizzando i fattori di emissione della metodologia di maggior dettaglio che considera il tipo di motori installati su ciascuna tipologia di nave (metodo *Tier 3*);
- CO, metalli e microinquinanti organici stimati con fattori di emissione che dipendono dal consumo di combustibile (metodo *Tier 1*);
- CO<sub>2</sub> (non prevista dal GBK EMEP), stimata utilizzando i fattori di emissione dell'IPCC (2006) per tipo di carburante.

<sup>2</sup> E' recentissima, di dicembre 2021, la pubblicazione di una nuova versione del EMEP GBK che introduce anche LNG tra i combustibili senza però fornire statistiche sulla distribuzione di motori navali alimentati con questo combustibile, rendendone non possibile al momento l'implementazione.

Le principali assunzioni della metodologia applicata, così come anche nelle precedenti edizioni (ARPAV, 2016), sono pertanto:

- il calcolo delle emissioni differenziato per motori principali (in gran parte utilizzati per la propulsione) e ausiliari (utilizzati per energia e servizi);
- la stima dell'emissione basata sulla potenza installata del motore (calcolata a sua volta come funzione empirica della stazza della nave), riscalata per un fattore correttivo (*load factor*) che permette di passare dalla potenza nominale a quella effettiva, e sul tempo impiegato in ogni fase di navigazione (stazionamento, manovra e crociera);
- la flotta navale suddivisa nelle nove categorie EMEP (*Liquid\_bulk\_ships, Dry\_bulk\_carriers, Container, General\_cargo, RoRo\_cargo, Passenger, Fishing, Others, Tugs*) a ognuna delle quali è associato uno specifico "parco" motori. Nella categoria navi passeggeri, il software BUH distingue la sottocategoria navi crociera consentendo di specificare eventuali regole aggiuntive come, ad esempio, l'applicazione dell'accordo *Blue Flag* con l'utilizzo di combustibile con limite più restrittivo per il contenuto di zolfo;
- la stima dell'emissione distinta per due tipologie di combustibile: olio combustibile pesante (Bunker Fuel Oil) e distillati, diesel e gasolio marino (senza distinzione tra Marine Gas Oil e Marine Diesel Oil);
- i fattori di emissione di NO<sub>x</sub>, NMCOV, PM e i fattori di consumo del combustibile specifici per ogni combinazione tipo motore/combustibile e fase di navigazione;
- le emissioni di CO e dei microinquinanti (metalli pesanti ed inquinanti organici), calcolate a partire dal consumo di combustibile, a sua volta calcolato dai fattori specifici di consumo per tipo motore in base alla potenza del motore;
- la ricostruzione del parco motore/combustibile per le nove categorie EMEP, presentato nel GBK sulla base di statistiche internazionali circa le flotte navali circolanti a scala mondiale (con anno di riferimento 2010); queste statistiche riportano la distribuzione per ogni categoria navale di 5 tipologie di motore (*slow-, medium- e high-speed diesel*, turbine a gas e turbine a vapore) alimentati per le 2 tipologie di combustibile.

Inoltre, le emissioni di SO<sub>2</sub> sono state ricavate in base al contenuto di zolfo presente nel combustibile, secondo le assunzioni tratte dalla normativa europea e nazionale in vigore (Direttiva 2012/33/CE, DLgs 112/2014 e DM Ambiente 22/2017) e da statistiche internazionali, come di seguito specificato:

- valore del 2.7% come impostazione predefinita per il carburante BFO, ricavato da statistiche internazionali (ENTEC, 2002) che riportano valori inferiori rispetto al limite normativo di 3.50% in massa in vigore fin dal 18 giugno 2014 e valevole fino al 1° gennaio 2020, data in cui è subentrato il limite dello 0.50%;
- valore dell'1% come impostazione predefinita per la categoria di carburante distillati MDGO (valore intermedio e cautelativo per il limite di 0.1% per MGO e il limite 1.50% per MGO valevoli per l'immissione sul mercato di questi combustibili);
- valore dello 0.1% per tutte le categorie di navi in fase di stazionamento in porto in considerazione del limite in vigore fin da gennaio 2010; poiché il BFO non è disponibile con un contenuto di zolfo così basso l'applicazione di tale limite nelle stime qui presentate comporta che nella fase di ormeggio siano utilizzati i fattori di emissione relativi ai combustibili MDO/MGO<sup>3</sup>;
- valore dell'1.5% per la manovra e navigazione entro acque territoriali per le navi passeggeri;

---

<sup>3</sup> Questa assunzione, condivisa con l'Autorità Portuale ancora nell'ambito del progetto APICE, dipende dal fatto che al momento non si hanno ancora informazioni sulla diffusione di sistemi di abbattimento dello zolfo, quali scrubber, utilizzabili anche in laguna di Venezia. Inoltre in generale combustibili con % di zolfo molto basse producono emissioni di polveri inferiori, in quanto lo zolfo stesso in fase di emissione dei fumi costituisce nucleo di condensazione delle particelle incombuste. Per tener conto di questo effetto, si è deciso di forzare l'utilizzo dei fattori di emissione dei distillati nel caso di limite al tenore di zolfo pari allo 0.1%. Con la nuova versione del GBK 2021, che tra le altre novità presenta anche i fattori di riduzione associati all'utilizzo di scrubbers, questa assunzione potrebbe essere rivalutata per la stima delle emissioni dal 2020 in poi, in funzione della disponibilità di informazioni su questi sistemi di abbattimento e del loro eventuale possibile utilizzo in laguna.

- valore dello 0.1% per la manovra delle navi crociera, per l'applicazione dell'accordo volontario *Blue Flag* in vigore a Venezia fin dal 2007.

Si fa notare che fattori di emissione delle polveri per i distillati marini sono più bassi rispetto al BFO. Nell'implementazione della stima delle emissioni qui adottata quindi, l'applicazione del limite dello 0.1% per il contenuto di zolfo, implicando l'utilizzo di MGO o MDO al posto del BFO, produce una riduzione non solo delle emissioni di SO<sub>2</sub> ma anche di particolato.

## Dati di origine e processamento per il calcolo di stima

Attraverso una serie di estrazioni ed elaborazioni a partire dal proprio database gestionale, AdSPMAS ha fornito il database delle toccate al porto di Venezia, dove per ogni nave è indicato: nome nave, codice IMO, stazza lorda, ormeggio, tipo nave, data e ora di inizio operazioni di sbarco od imbarco.

Il tempo di ormeggio è stato calcolato per ciascun accosto in base alla data e ora di inizio operazioni di sbarco od imbarco, tenendo conto anche del tempo necessario alle operazioni di carico e scarico, tipici per le varie tipologie di navi e stimati sulla base dei dati storici 2016, gli ultimi disponibili con questo grado di dettaglio.

Il tempo di manovra è stato stimato da AdSPMAS sulla base delle velocità di navigazione consentite, del punto di ingresso in Laguna e del terminal di approdo. I valori stimati e riferiti al percorso di una sola tratta (andata o ritorno) sono riportati nella seguente tabella. I tempi di manovra più brevi sono quelli per l'approdo a Porto San Leonardo, quasi prospiciente alla bocca di Malamocco (circa mezz'ora), mentre tutti gli altri tempi superano l'ora, fino al massimo di quasi due ore per gli approdi commerciali/industriali di Porto Marghera.

Tratta di percorrenza	Distanza (km)	Tempo medio (ore)
Bocca di Lido – Stazione Marittima	13.6	1h 31'
Bocca di Lido – San Basilio/Santa Marta	13.6	1h 31'
Bocca di Malamocco – Porto Marghera	20.9	1h 53'
Bocca di Malamocco – Terminal Ro-ro	15.6	1h 5'
Bocca di Malamocco – Porto San Leonardo	8.3	32'

Fonte: Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Settentrionale.

Grazie ad una diversa estrazione dal database gestionale, sono inoltre state fornite informazioni sul porto di provenienza e di destinazione, nonché una classificazione più di dettaglio del tipo nave.

Le elaborazioni, realizzate da ARPAV sulla base dati di partenza precedentemente descritta e funzionali alla scrittura del file di input per il software BUH, hanno riguardato la riconduzione del tipo nave ad una delle 9 classi della metodologia EMEP (con l'ulteriore assegnazione alla sottoclasse navi crociera) ed il raggruppamento degli 82 ormeggi in 12 zone di accosto delle 5 aree di approdo (Marittima, Santa Marta/San Basilio, Porto Marghera, Fusina, San Leonardo).

La composizione della flotta navale commerciale e passeggeri transitata nell'anno 2019 nel porto di Venezia, classificata secondo le tipologie EMEP e suddivisa per le cinque aree di approdo è descritta nella seguente tabella:

Tipologia EMEP	Terminal					Totale Toccate
	Marittima	S. Basilio\S.Marta	Fusina	Porto Marghera	S. Leonardo	
Container				100%		658
Dry_bulk_carriers				100%		298
General_cargo				100%		415
Liquid_bulk_ships				87%	13%	651
Others				100%		71
Passenger		49%	51%			744
Passenger_C	80%	19%		1%		566
Ro_Ro_cargo				100%		14
<b>Totale complessivo</b>	<b>456</b>	<b>467</b>	<b>380</b>	<b>2031</b>	<b>83</b>	<b>3417</b>

Fonte: elaborazioni ARPA Veneto su dati AdSPMAS

Un'elaborazione specifica è stata implementata per la stima delle emissioni dovute all'assistenza alla manovra svolta dai rimorchiatori, valorizzando, in particolare, il dato di consumo complessivo di combustibile, reso disponibile dalla società appaltatrice del servizio attraverso AdSPMAS.

Per quanto riguarda le emissioni complessive dei rimorchiatori, le stime sono state effettuate utilizzando il tonnellaggio lordo della flotta ed il numero di ore complessivo di assistenza, valore quest'ultimo desunto dall'applicazione delle regole delle ordinanze della Capitaneria di Porto di Venezia che prescrivono il numero e la potenza dei rimorchiatori sulla base della stazza della nave assistita. L'ulteriore parametro che influisce sui quantitativi degli inquinanti emessi e del carburante consumato, ovvero il fattore di carico (load factor), è stato impostato in modo da far convergere il risultato del consumo di carburante stimato con i fattori di consumo presenti nel GBK per tipologia di motore/combustibile, con il quantitativo comunicato dalla compagnia appaltatrice del servizio.

Il confronto tra i consumi stimati dal software per i rimorchiatori e i consumi forniti per l'anno 2019, ha permesso quindi di personalizzare il fattore di carico con un valore pari a 0.44, coerente con i valori di 0.2 e 0.5 che il GBK propone, rispettivamente, per il *load factor* del motore principale e di quello ausiliario.

Si precisa che questo approccio per la stima della componente emissiva dei rimorchiatori rappresenta una novità rispetto alle precedenti edizioni dell'inventario INEMAR Veneto. Come si vedrà nel paragrafo relativo ai confronti interannuali, il nuovo approccio adottato porta a stimare per i rimorchiatori valori più contenuti per le emissioni di tutti gli inquinanti.

Nella Figura 1 seguente sono sintetizzati gli elementi di input su cui si basa la stima delle emissioni. Il grafico mostra i valori che sono stati ricostruiti relativamente alle ore totali spese nella fase di stazionamento (*hotelling*) e nella fase di manovra (*manoeuvring*) da tutte le navi giunte al porto di Venezia nel 2019, suddivise per le 9 categorie EMEP. Si riporta inoltre, per ciascuna categoria EMEP, il valore medio della stazza lorda. All'aumentare della stazza lorda si associa infatti un aumento della potenza effettiva dei motori, secondo le curve empiriche specifiche per ogni categoria EMEP fornite dal GBK. Essendo le emissioni direttamente proporzionali alla potenza dei motori, all'aumentare della stazza corrisponde quindi l'incremento dei consumi di combustibile e delle emissioni dei diversi inquinanti.

Per tutte le categorie navali, i tempi di stazionamento sono maggiori di quelli di manovra, esclusi ovviamente i rimorchiatori (*tugs*) per i quali sono conteggiate solo le ore di assistenza, ottenute sommando il servizio da essi svolto per tutte le imbarcazioni sulla base delle regole imposte dalle ordinanze della Capitaneria.

Per quanto riguarda la ripartizione del numero totale di ore spese nell'anno all'ormeggio, il 23% è associato alle *dry bulk carriers*, il 20% alle *liquid bulk ships* e alle *general cargo*, il 16% alle *container*, il 13% alle navi crociera, il 6% alle restanti navi passeggeri (che comprendono anche i traghetti Ro-Pax in approdo a Fusina), il 2% alla categoria *others*.



Per quanto riguarda la fase di manovra, ai rimorchiatori è associato il 59% del monte ore totale; essi, come già spiegato, assistono le navi di tonnellaggio maggiore per tutta la fase di manovra all'interno delle bocche lagunari. Escludendo dal totale le ore di assistenza dei rimorchiatori, il 22% del restante monte ore è attribuito ai container, seguiti dal 20% delle *liquid bulk ships*, il 17% delle navi passeggeri, il 15% delle navi crociera, il 14% delle *general cargo*, il 10% delle *dry bulk ships* e il 2% delle *others*.

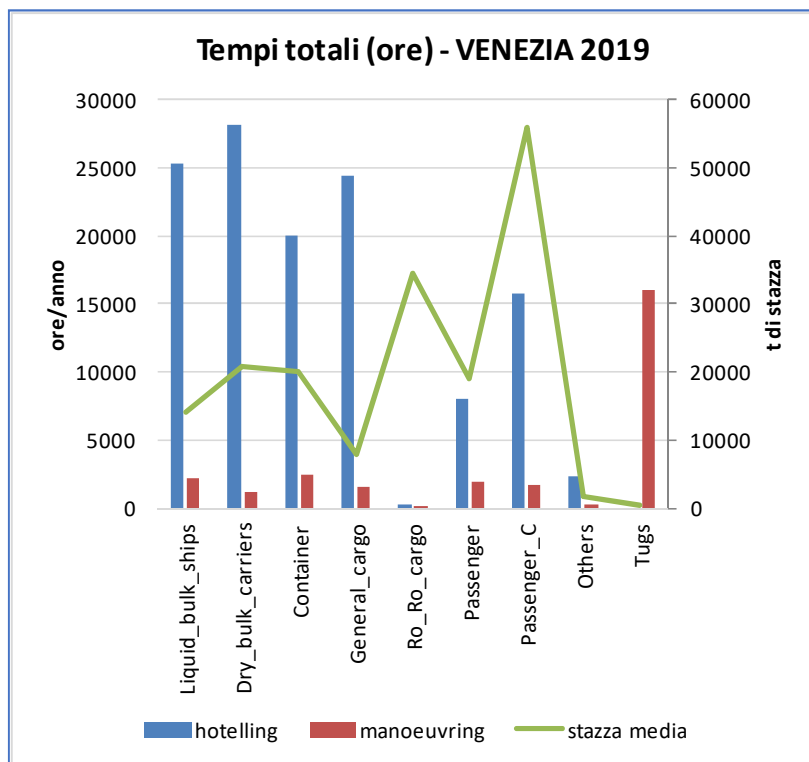


Fig 1: Analisi dei parametri in input al calcolo delle emissioni

Come sopra evidenziato, una delle peculiarità del Porto di Venezia è il tempo complessivo di assistenza alla manovra molto consistente, che si riflette anche sulla categoria *tugs* (rimorchiatori). A tal proposito bisogna ricordare che la fase di manovra inizia per tutte le aree di approdo fin dalle bocche di ingresso alla laguna e, dunque, il Porto di Venezia si caratterizza proprio per lunghi tempi di manovra, sia per gli approdi di Porto Marghera attraverso la bocca di Malamocco, che per quelli di Venezia centro storico, attraverso la bocca di Lido. Si segnala, inoltre che, a partire da giugno 2019, a seguito di eventi incidentali che coinvolsero alcune navi crociera, per quelle di taglia maggiore è prescritta l'assistenza di 3 rimorchiatori, aggiungendo dunque un terzo rimorchiatore ai due precedentemente previsti.

## Risultati

In Tabella 1 sono riportate le stime delle emissioni totali annue dei vari inquinanti per la fase di ormeggio e di manovra e per tipo di nave secondo la classificazione EMEP.

Il 73% delle emissioni annuali di  $\text{NO}_x$  risultano prodotte nella fase di stazionamento mentre il 27% in fase di manovra; per il PM invece la fase di ormeggio costituisce il 47% del totale e la fase di manovra il 53%. Infine solo il 18% delle emissioni totali di  $\text{SO}_2$  è attribuibile alla fase di ormeggio mentre l'82% a quella di manovra. La diversa proporzione tra emissioni in fase di ormeggio e stazionamento tra  $\text{NO}_x$  e PM e  $\text{SO}_2$  è spiegabile

con l'incidenza della normativa che vieta l'utilizzo di combustibili con tenore di zolfo superiore all'0.1% per la fase di ormeggio (limite in vigore nei porti europei fin dal 2010). Questo limite implica, come spiegato in precedenza, un effetto evidente nel contenimento delle emissioni.

Tabella 1: risultati della stima emissiva 2019 – Porto di Venezia

	macroinquinanti			metalli										microinquinanti organici						
	NOx	SO2	PM	Pb	Cd	Hg	As	Cr	Cu	Se	Ni	Zn	PCB	PCDD	HCB	BaP	BbF	BkF	lcdP	
	t	t	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	g	mg	g	g	g	g	g	
hotelling																				
Liquid_bulk_ships	579.1	19.9	28.8	1.292	0.099	0.298	0.398	0.497	1.988	0.099	9.940	11.929	0.378	1.292	0.795	19.881	99.404	99.404	9.940	
Dry_bulk_carriers	337.8	11.3	9.0	0.734	0.056	0.169	0.226	0.282	1.129	0.056	5.644	6.772	0.215	0.734	0.452	11.287	56.437	56.437	5.644	
Container	480.6	16.1	13.2	1.045	0.080	0.241	0.322	0.402	1.608	0.080	8.042	9.650	0.306	1.045	0.643	16.083	80.417	80.417	8.042	
General_cargo	141.1	4.9	4.0	0.316	0.024	0.073	0.097	0.121	0.486	0.024	2.428	2.913	0.092	0.316	0.194	4.855	24.275	24.275	2.428	
Ro_Ro_cargo	5.7	0.2	0.2	0.013	0.001	0.003	0.004	0.005	0.020	0.001	0.099	0.119	0.004	0.013	0.008	0.198	0.988	0.988	0.099	
Passenger	132.8	4.7	4.0	0.306	0.024	0.071	0.094	0.118	0.470	0.024	2.350	2.820	0.089	0.306	0.188	4.700	23.499	23.499	2.350	
Passenger_C	320.0	11.3	9.8	0.736	0.057	0.170	0.227	0.283	1.133	0.057	5.664	6.797	0.215	0.736	0.453	11.328	56.639	56.639	5.664	
Others	14.1	0.5	0.4	0.033	0.003	0.008	0.010	0.013	0.051	0.003	0.253	0.304	0.010	0.033	0.020	0.506	2.532	2.532	0.253	
<b>TOTAL</b>	<b>2011.1</b>	<b>68.8</b>	<b>69.4</b>	<b>4.475</b>	<b>0.344</b>	<b>1.033</b>	<b>1.377</b>	<b>1.721</b>	<b>6.884</b>	<b>0.344</b>	<b>34.419</b>	<b>41.303</b>	<b>1.308</b>	<b>4.475</b>	<b>2.754</b>	<b>68.838</b>	<b>344.191</b>	<b>344.191</b>	<b>34.419</b>	
manoeuvring	t	t	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	g	mg	g	g	g	g	g	
Liquid_bulk_ships	44.5	38.7	5.6	0.133	0.015	0.016	0.037	0.502	0.152	0.028	22.219	0.911	0.397	0.334	0.102	3.595	21.434	14.512	6.297	
Dry_bulk_carriers	34.1	29.5	4.3	0.100	0.011	0.012	0.028	0.388	0.112	0.022	17.229	0.674	0.307	0.256	0.077	2.736	16.367	10.991	4.863	
Container	173.4	151.8	22.8	0.509	0.056	0.057	0.142	2.013	0.568	0.112	89.414	3.409	1.594	1.319	0.395	14.060	84.264	56.338	25.182	
General_cargo	25.0	22.1	3.4	0.079	0.008	0.010	0.022	0.279	0.092	0.016	12.297	0.549	0.221	0.189	0.060	2.061	12.212	8.393	3.513	
Ro_Ro_cargo	3.0	2.8	0.4	0.010	0.001	0.001	0.003	0.035	0.012	0.002	1.561	0.071	0.028	0.024	0.008	0.264	1.564	1.079	0.447	
Passenger	71.1	44.2	11.4	0.268	0.029	0.033	0.075	0.970	0.309	0.055	42.869	1.855	0.768	0.654	0.204	7.090	42.115	28.784	12.209	
Passenger_C	176.7	7.7	12.0	0.502	0.039	0.116	0.155	0.193	0.772	0.039	3.862	4.634	0.147	0.502	0.309	7.724	38.618	38.618	3.862	
Others	3.5	2.3	0.3	0.010	0.001	0.002	0.003	0.023	0.013	0.002	0.970	0.079	0.018	0.019	0.007	0.220	1.244	0.953	0.299	
Tugs	207.4	9.7	18.4	0.629	0.048	0.145	0.194	0.242	0.968	0.048	4.841	5.809	0.184	0.629	0.387	9.681	48.407	48.407	4.841	
<b>TOTAL</b>	<b>738.6</b>	<b>308.9</b>	<b>78.6</b>	<b>2.240</b>	<b>0.208</b>	<b>0.392</b>	<b>0.658</b>	<b>4.646</b>	<b>2.999</b>	<b>0.324</b>	<b>195.260</b>	<b>17.991</b>	<b>3.663</b>	<b>3.926</b>	<b>1.548</b>	<b>47.430</b>	<b>266.224</b>	<b>208.073</b>	<b>61.513</b>	

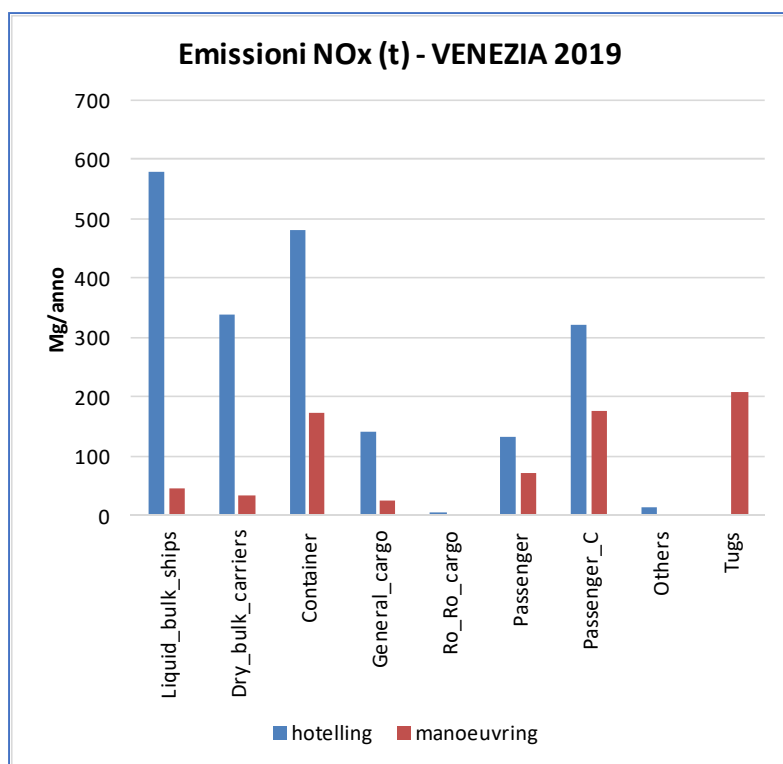


Figura 2: stima delle emissioni totali annuali di ossidi di azoto NOx

Per quanto riguarda le emissioni di NOx, presentate in Figura 2, rispetto al totale dello stazionamento, le tipologie di navi rilevanti alle quali nel 2019 sono associate le emissioni più elevate sono: le portarinfuse liquide (29%), le navi container (24%), le navi da crociera (16%), le navi passeggeri e le *general cargo* (7% ciascuna) mentre le restanti tipologie sono sotto l'1%. Nella fase di manovra le emissioni di NOx sono prodotte per la maggior parte dai rimorchiatori (28%), dalle navi da crociera (24%), dalle navi container (23%) e dalle navi passeggeri (10%); le restanti tipologie rappresentano complessivamente il 14% delle emissioni.

Nel grafico di Figura 3 si presentano le stime per il biossido di zolfo.

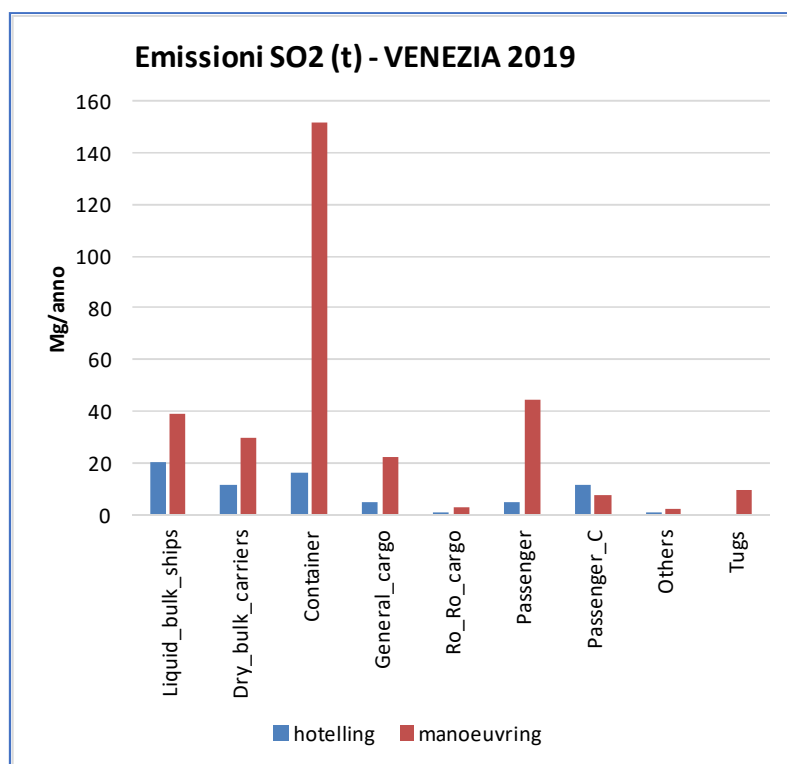


Figura 3: stima delle emissioni totali annuali di biossido di zolfo SO<sub>2</sub>

Nella scomposizione del contributo alle emissioni di SO<sub>2</sub> per tipologia di nave, nella fase di stazionamento contribuiscono maggiormente le portarinfuse liquide (29% del totale), le navi container (23%), le navi da crociera (16%), le navi passeggeri e le portarinfuse solide (16% rispettivamente), mentre le altre categorie non superano il 15% complessivamente. Per quanto riguarda la fase di manovra, le navi container contribuiscono al 49% delle emissioni, seguite dalle navi passeggeri (14%), le portarinfuse liquide (13%) e le portarinfuse solide (10%), mentre le restanti tipologie emettono il 15% delle emissioni di SO<sub>2</sub>. La categoria di navi che presenta maggiori emissioni è quella dei *container* che presentano sia tempi di percorrenza dalla bocca di Malamocco al terminal di Porto Marghera più elevati (1h 53' in media) sia una consistente numerosità in termini di toccate.

L'SO<sub>2</sub> emesso in manovra è sempre superiore rispetto a quello relativo allo stazionamento, fatta eccezione per le navi da crociera, rispetto alle quali si evidenzia l'effetto dell'Accordo *Venice Blue Flag*. Tale accordo prevede l'adozione volontaria di carburanti con un tenore di zolfo inferiore allo 0.1% in massa, in anticipo rispetto ai limiti previsti dalla normativa europea e nazionale. Sottoscritto per la prima volta nel 2007 dall'Autorità Portuale di Venezia (ora Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Settentrionale AdSMAS), Capitaneria di Porto, Comune di Venezia e compagnie crocieristiche, negli anni successivi l'Accordo è stato rinnovato estendendo la sua iniziale applicazione che riguardava la sola fase di ormeggio anche alla fase di manovra. Dal 2018 lo stesso impegno è stato assunto anche dalla società di gestione dei rimorchiatori per il carburante da essi utilizzato nelle operazioni di assistenza al transito delle navi.

Nel 2019, anno di riferimento del presente studio, il *Venice Blue Flag* ha comportato che le navi da crociera utilizzassero combustibili con un limite di contenuto di zolfo pari allo 0.1 % non solo nella fase di ormeggio (limite ormai cogente dal 2010 per tutte le navi in ormeggio nei porti d'Europa) ma anche in quella di manovra, rispetto al limite dello 1.5% valevole per le navi passeggeri entro le acque territoriali europee.

La scomposizione delle emissioni di polveri (PM) per tipologia di nave, presentato in Figura 4, registra per la fase di stazionamento il maggior contributo da parte delle portarinfuse liquide (41%), seguite dalle navi container (19%), dalle navi da crociera (14%) e dalle portarinfuse solide (13%), mentre le altre tipologie complessivamente contribuiscono al 13% delle emissioni. Analizzando le emissioni di PM in fase di manovra, le navi container contribuiscono per il 29%, seguite dai rimorchiatori (23%), dalle navi passeggeri e dalle navi da crociera (15% rispettivamente), mentre le restanti tipologie contribuiscono complessivamente per il 17%.

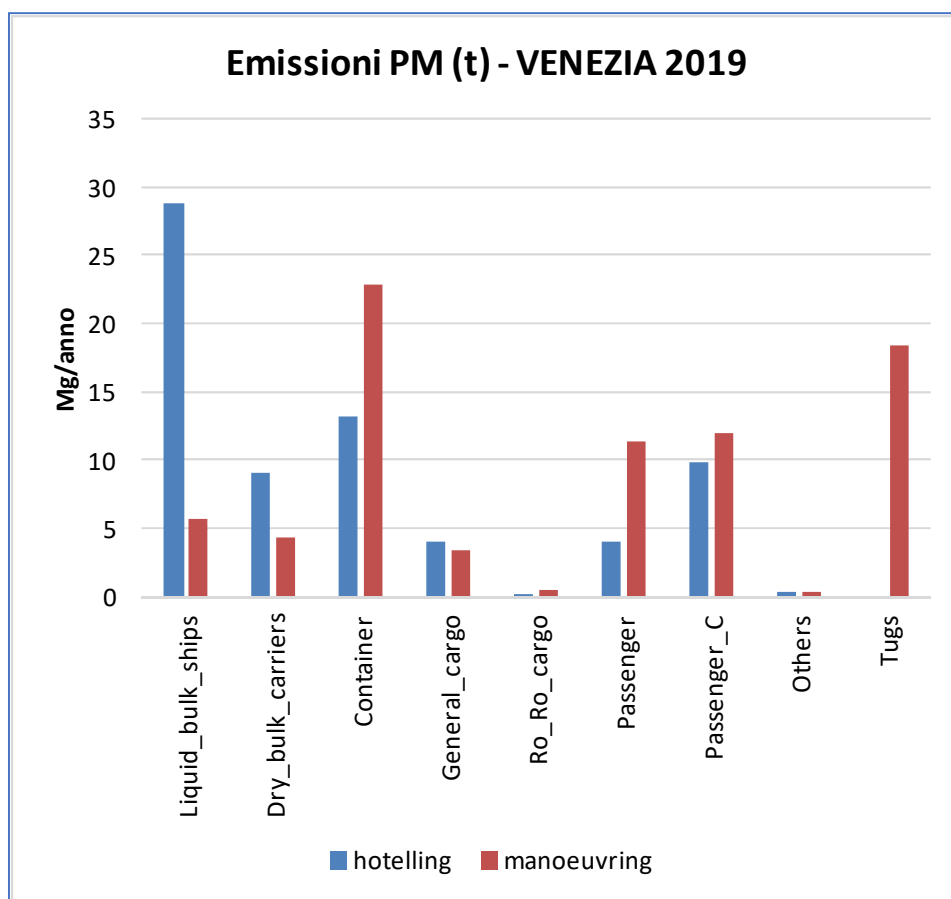


Figura 4: stima delle emissioni totali annuali di polveri<sup>4</sup>

Il grafico di Figura 4 evidenzia l'effetto dell'applicazione del limite dello 0.1% per il contenuto di zolfo che comporta, come commentato in precedenza, la riduzione anche di particolato, in quanto il rispetto del limite implica il passaggio all'uso dei fattori di emissione dei distillati marini che sono per le polveri significativamente più bassi rispetto al BFO.

Nei grafici seguenti sono presentate le emissioni stimate per i vari metalli, distintamente per la fase di stazionamento e di manovra. Nichel e Zinco, con valori emissivi maggiori, sono riportati in un grafico a parte.

<sup>4</sup> I fattori di emissione del GBK prevedono che le emissioni di particolato dalle navi sia costituita al 100% dalle granulometrie più fini. Per tale motivo le stime delle emissioni di PM10 e PTS (polveri totali) coincidono con il PM2.5.

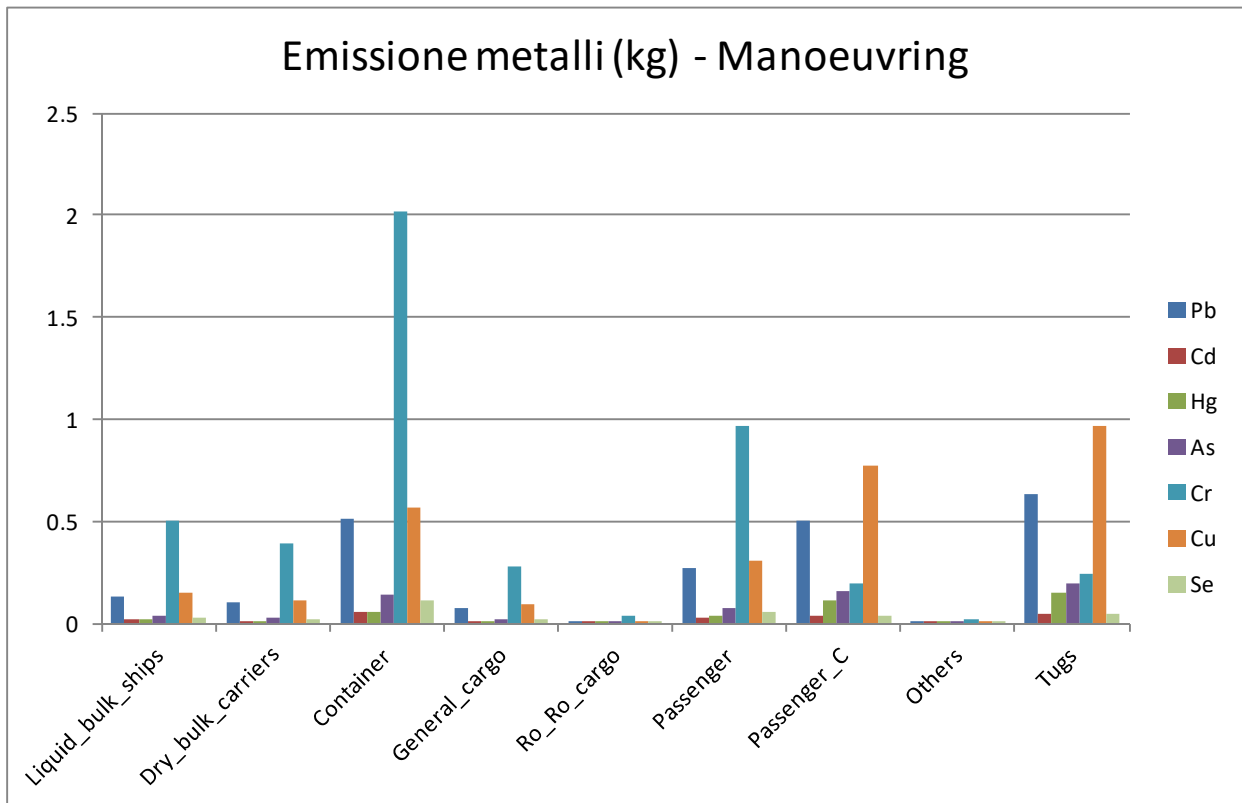
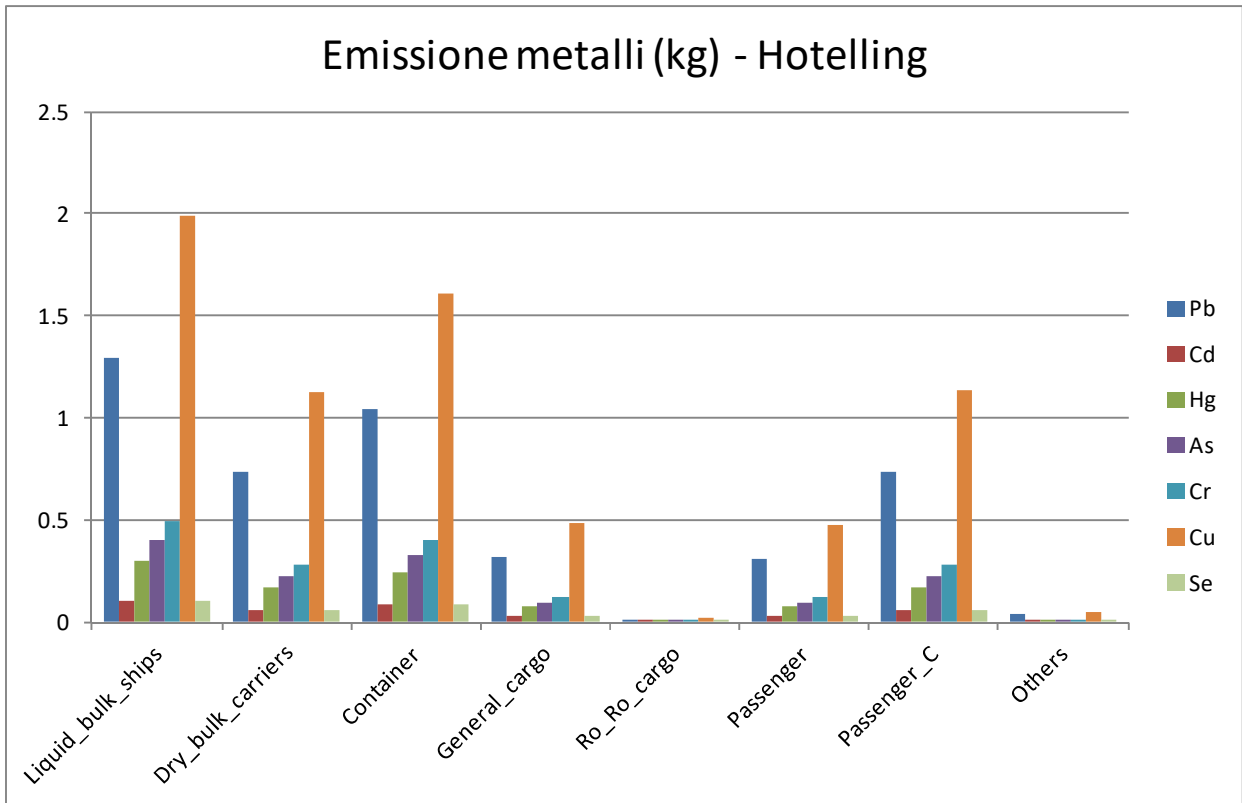


Figura 5: stima delle emissioni annuali totali di metalli per la fase di stazionamento (sopra) e manovra (sotto)

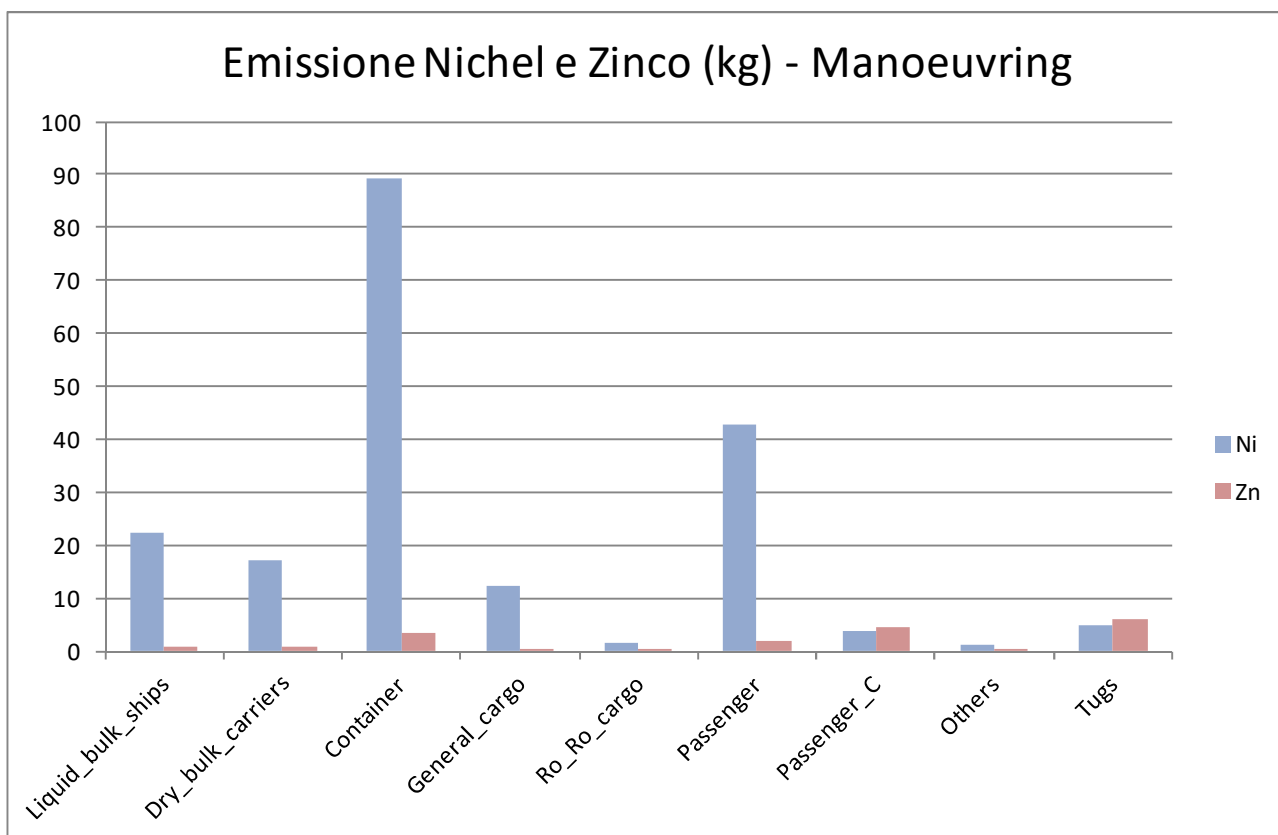
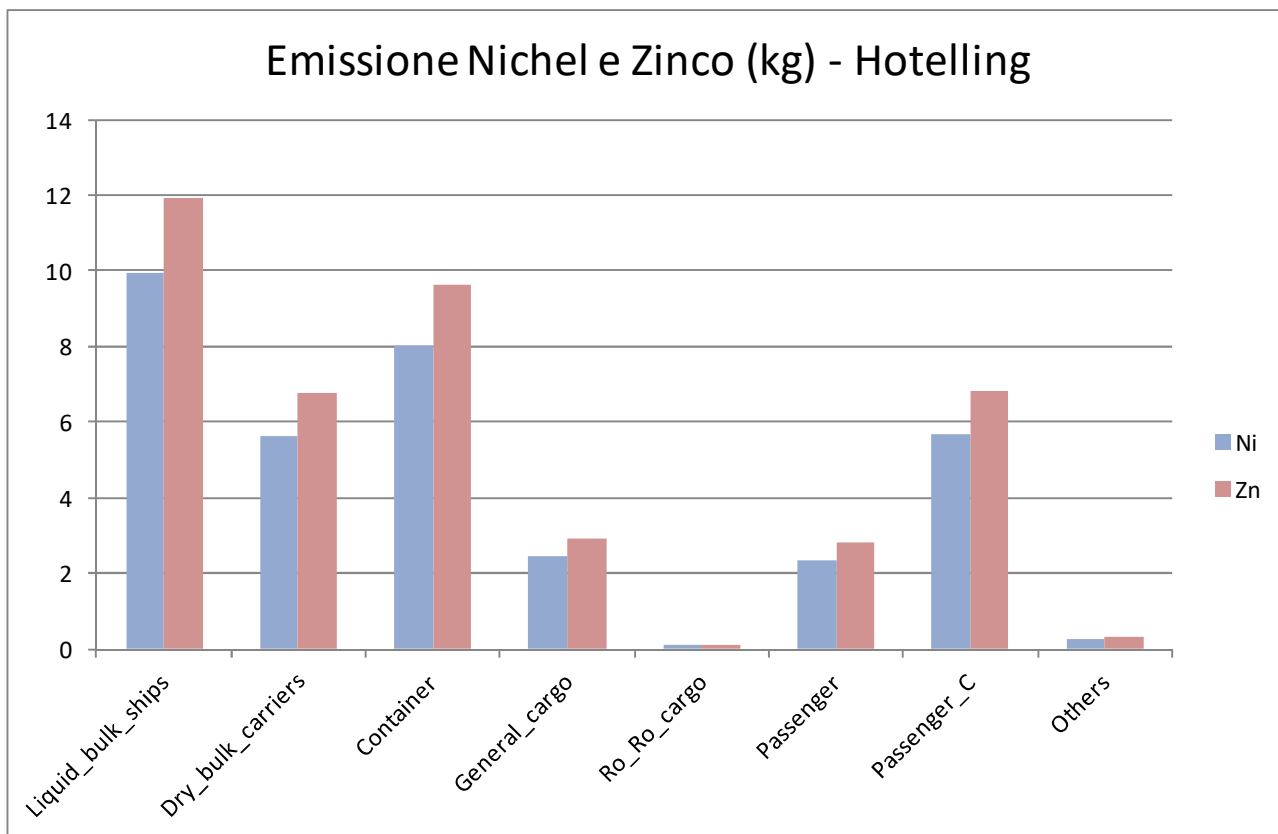


Figura 6: stima delle emissioni annuali totali di Nichel e Zinco per la fase di stazionamento (sopra) e manovra (sotto)

Infine nei grafici seguenti sono presentate le emissioni stimate per i microinquinanti organici per i quali la metodologia EMEP/EEA (EMEP/EEA, 2020) fornisce i relativi fattori di emissione, ovvero policloribifenili



(PCB), la somma di diossine e furani (PCDD/F), esaclorobenzene (HCB) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Si fa notare che le emissioni di diossine e furani sono sommate senza considerare alcun fattore di tossicità e sono espresse in mg, mille volte inferiori agli altri inquinanti proposti nel medesimo grafico per sinteticità.

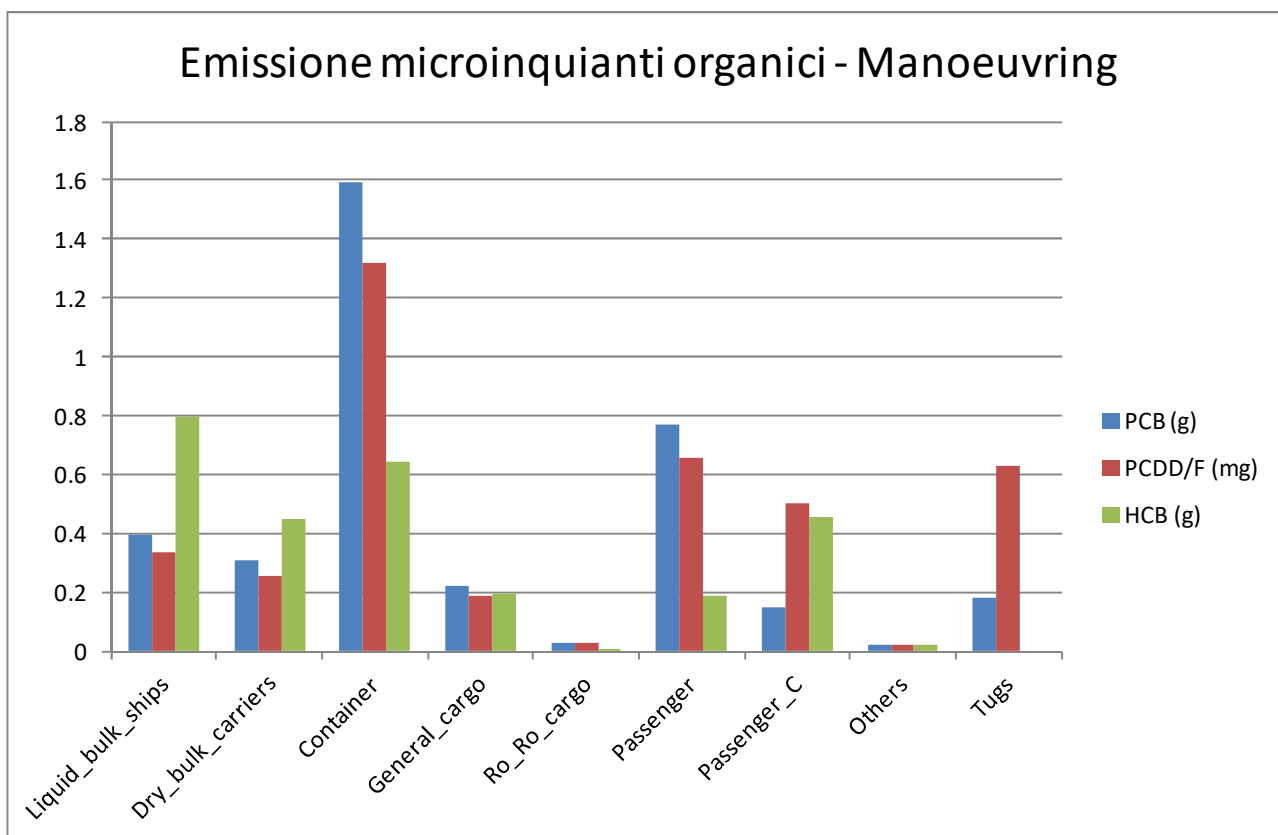
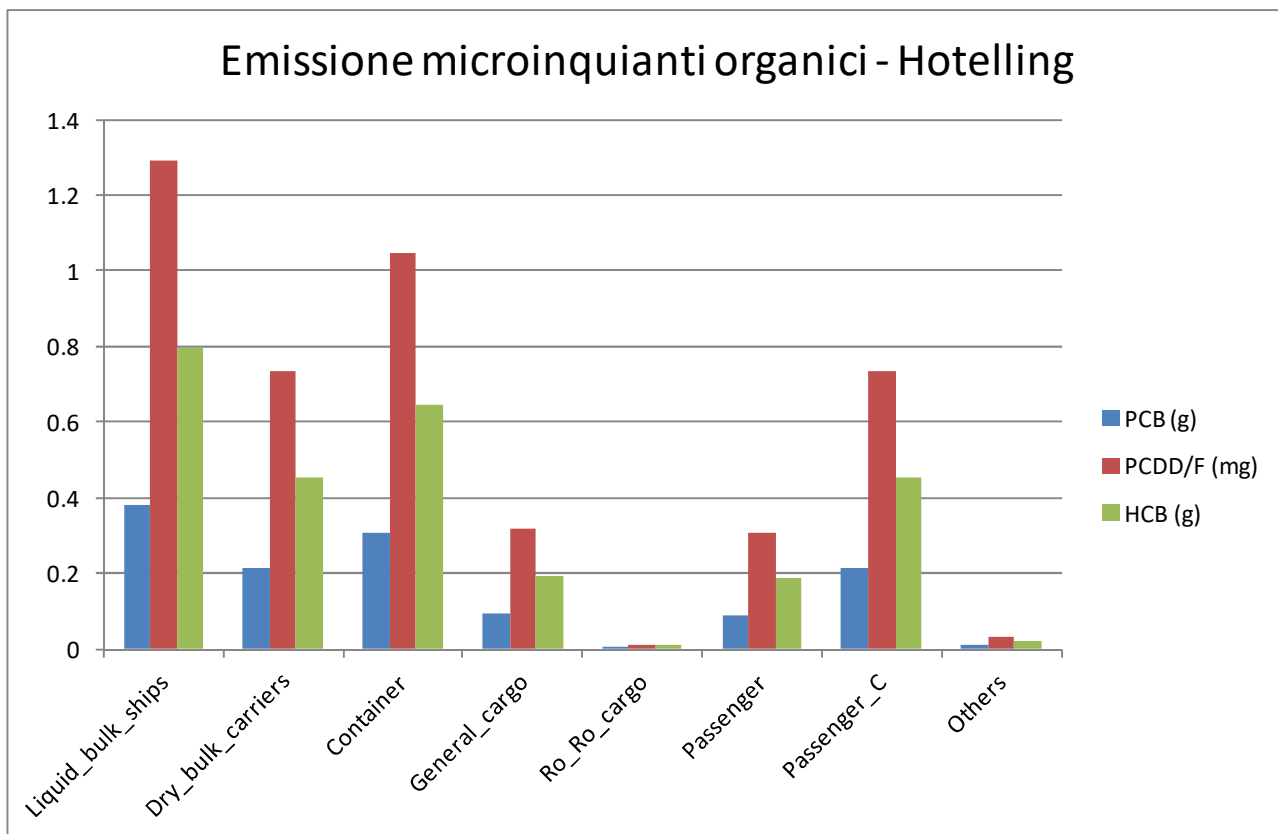


Figura 7: stima delle emissioni annuali totali di microinquinanti organici per la fase di stazionamento (sopra) e manovra (sotto)

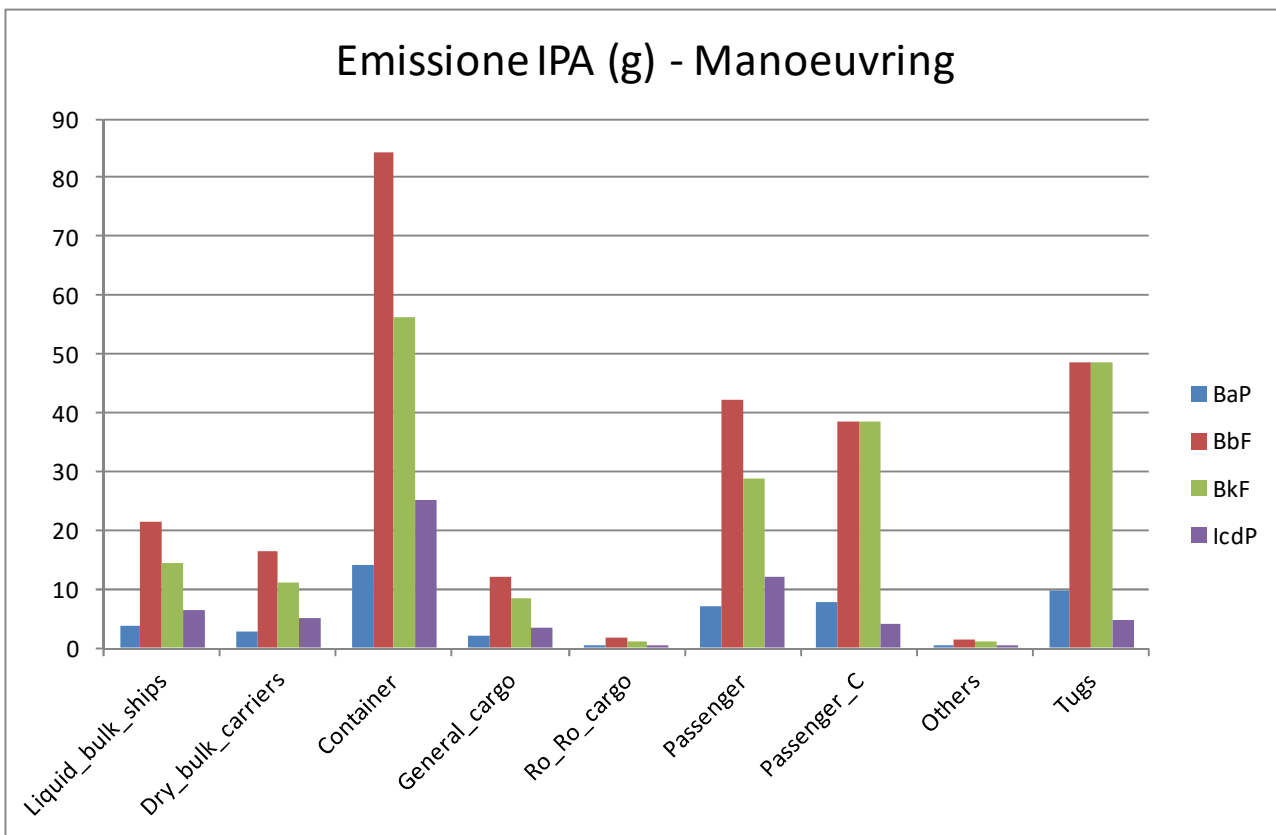
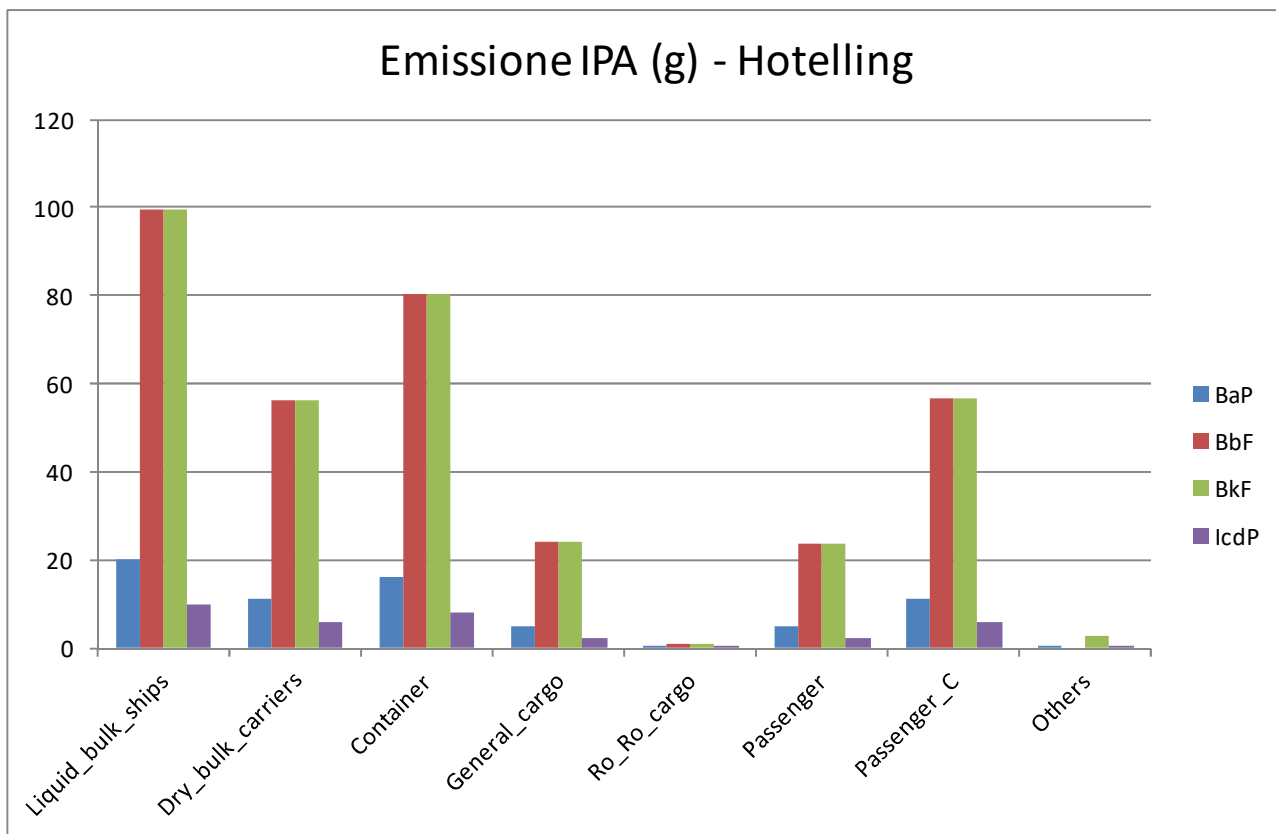


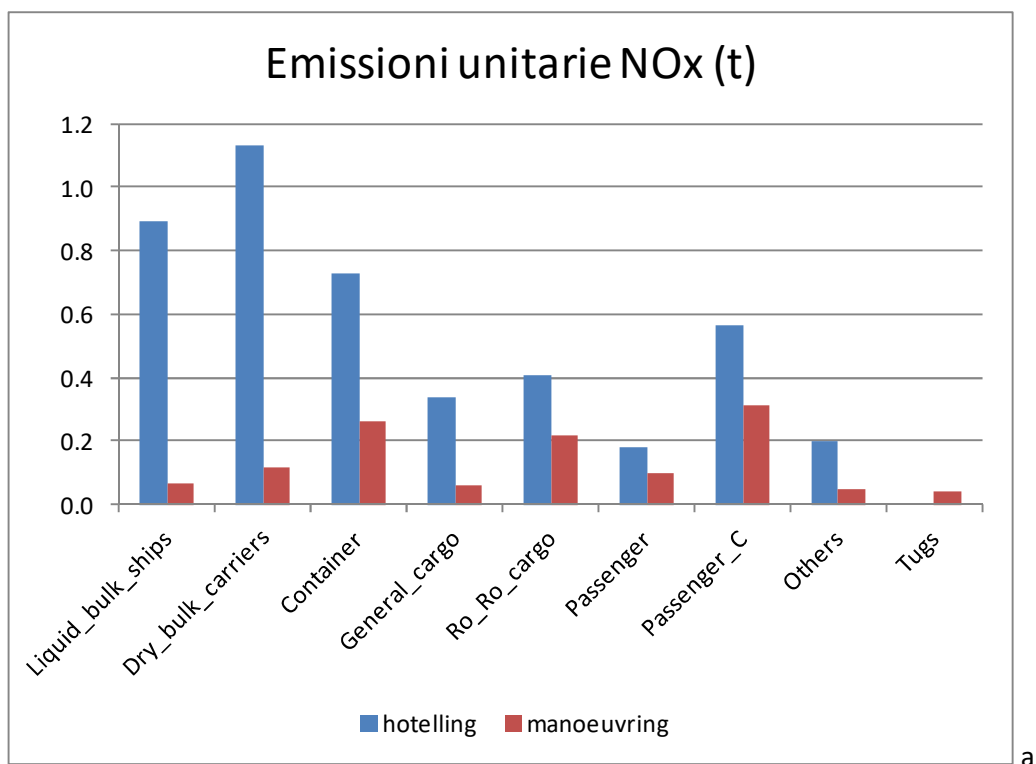
Figura 8: stima delle emissioni annuali totali di idrocarburi policiclici aromatici IPA per la fase di stazionamento (sopra) e manovra (sotto)

Per gli IPA, le specie stimate dal GBK, sono le seguenti: benzo(a)pirene (BaP), benzo(b)fluorantene, benzo(k)fluorantene (BkF) e Indeno(1,2,3-c,d)pirene (IcdP).

A completamento della discussione dei risultati di stima presentati per il totale dei movimenti navali 2019 del porto di Venezia, si ritiene interessante proporre nei seguenti grafici le emissioni unitarie di ciascuna categoria navale, con valori distinti per lo stazionamento e la manovra.

Si precisa che tali emissioni “unitarie” sono anch’esse il risultato della specifica situazione di Venezia, e sono state ottenute dividendo il totale delle emissioni calcolate per tutto l’anno per il numero di navi ricadenti nella specifica categoria EMEP. Le emissioni unitarie, in altre parole, sono tipiche del porto che si sta considerando in quanto dipendono dal tipo di traffico in esso presente, dalla tipologia (*in primis* la stazza) delle navi che lo frequentano e dagli specifici tempi di stazionamento e di manovra che lo caratterizzano.

Nei grafici a seguire, sono presentate le emissioni per i 3 macroinquinanti NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> e PM, assieme all’emissione di CO<sub>2</sub>.



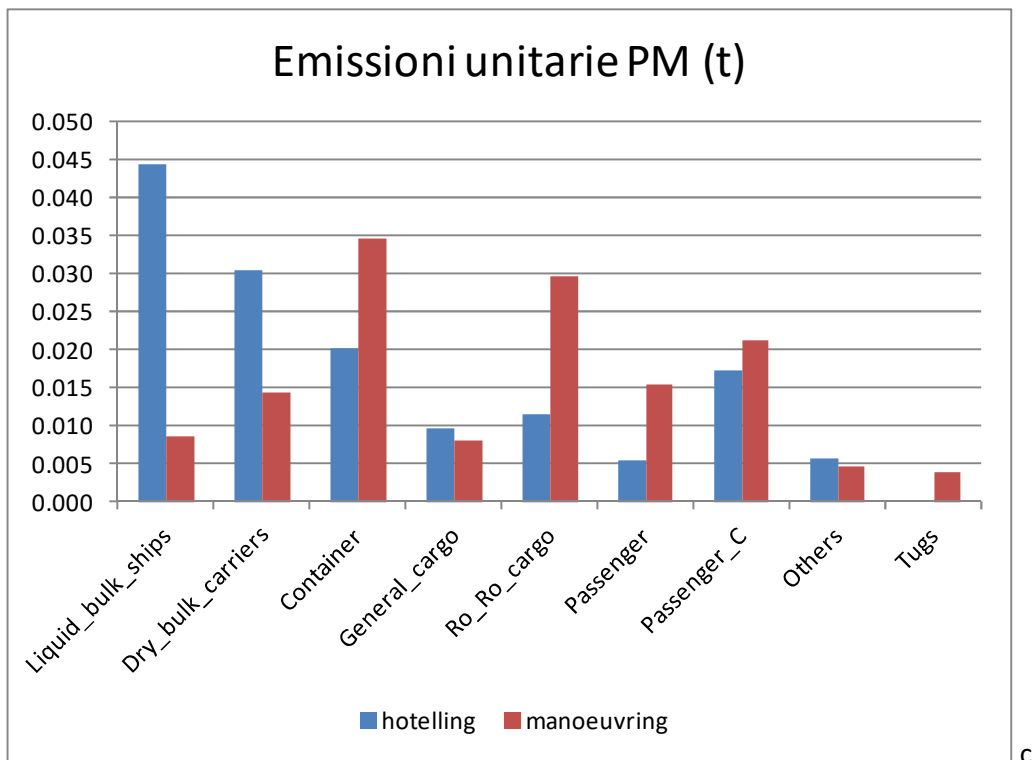
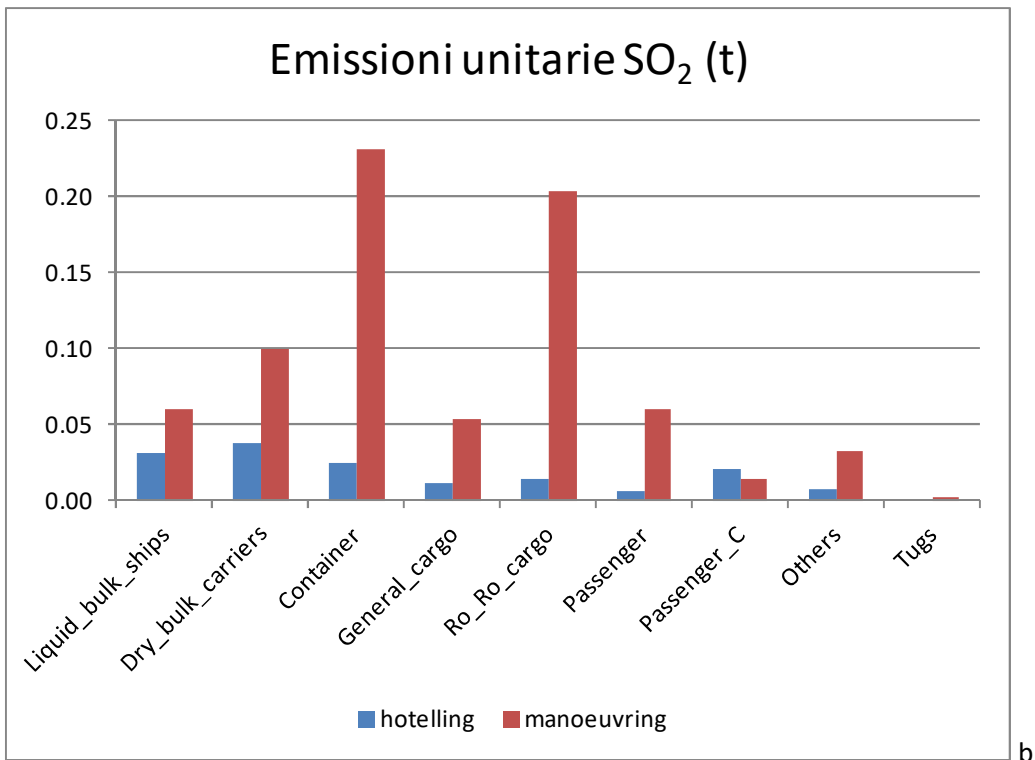


Figura 9: Emissioni medie per tipologia di nave di ossidi di azoto (a), biossido di zolfo (b), particolato (c).

In fase di stazionamento le categorie delle porta rinfuse liquide e solide presentano le emissioni unitarie più elevate per i quattro inquinanti considerati (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM e CO<sub>2</sub>): nonostante la stazza media di queste navi in approdo a Venezia nel 2019 non sia stata particolarmente elevata (v. Figura 1), hanno

complessivamente conteggiato i più elevati tempi di ormeggio. La manovra è invece caratterizzata da emissioni unitarie più rilevanti per le navi container, che sono tra le navi che fanno il percorso di manovra più lungo dalla bocca di Malamocco a Porto Marghera, e per le Ro-Ro cargo e le navi crociera che registrano la stazza media più elevata.

## Interconfronti tra le annualità di stima disponibili per l'ultimo decennio

Come richiamato in premessa, stime delle emissioni atmosferiche associate al traffico navale del Porto di Venezia sono disponibili, nell'ambito delle edizioni dell'inventario INEMAR Veneto, a partire dalla annualità 2005.

Oltre alle numerose edizioni dell'inventario delle emissioni, il tema dell'impatto sulla qualità dell'aria del traffico navale di Venezia è stato approfondito nel tempo da ARPAV con vari approcci e metodi, di cui è rinvenibile documentazione a partire dalla pagina internet dedicata<sup>5</sup>.

Con i progetti europei APICE (Gissi *et alt.*, 2013) e CAIMANs (Liguori *et alt.*, 2016), cofinanziati dal Programma MED (periodo di programmazione 2007-2013), è stato in particolare sviluppato e successivamente messo a punto il software BUH per la stima delle emissioni del traffico navale.

Nelle figure seguenti si confronta la stima 2019 presentata in questa relazione, con le stime edite nelle tre precedenti annualità: 2013, 2015 e 2017.

Il numero di toccate annue (o accosti), dall'anno 2013 è in leggera diminuzione, come si osserva nel seguente grafico di Figura 10.

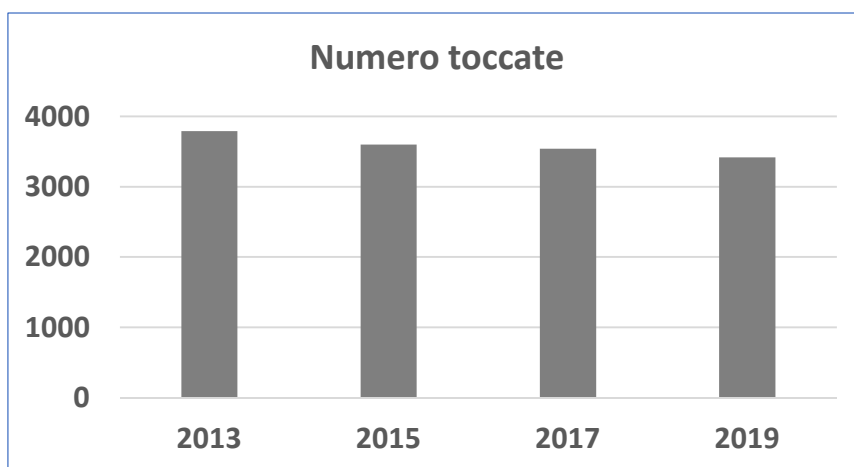


Figura 10: numero di passaggi navali conteggiati per la stima delle emissioni nelle varie edizioni INEMAR Veneto

Il confronto più dettagliato sui *drivers* del calcolo di stima, ovvero le ore totali di ore di stazionamento e di manovra, è ritratto nei seguenti due grafici, con la differenziazione per tipologia di nave EMEP.

<sup>5</sup> <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/qualita-dellaria/approfondimenti/inquinamento-atmosferico-in-ambito-portuale-approfondimenti>

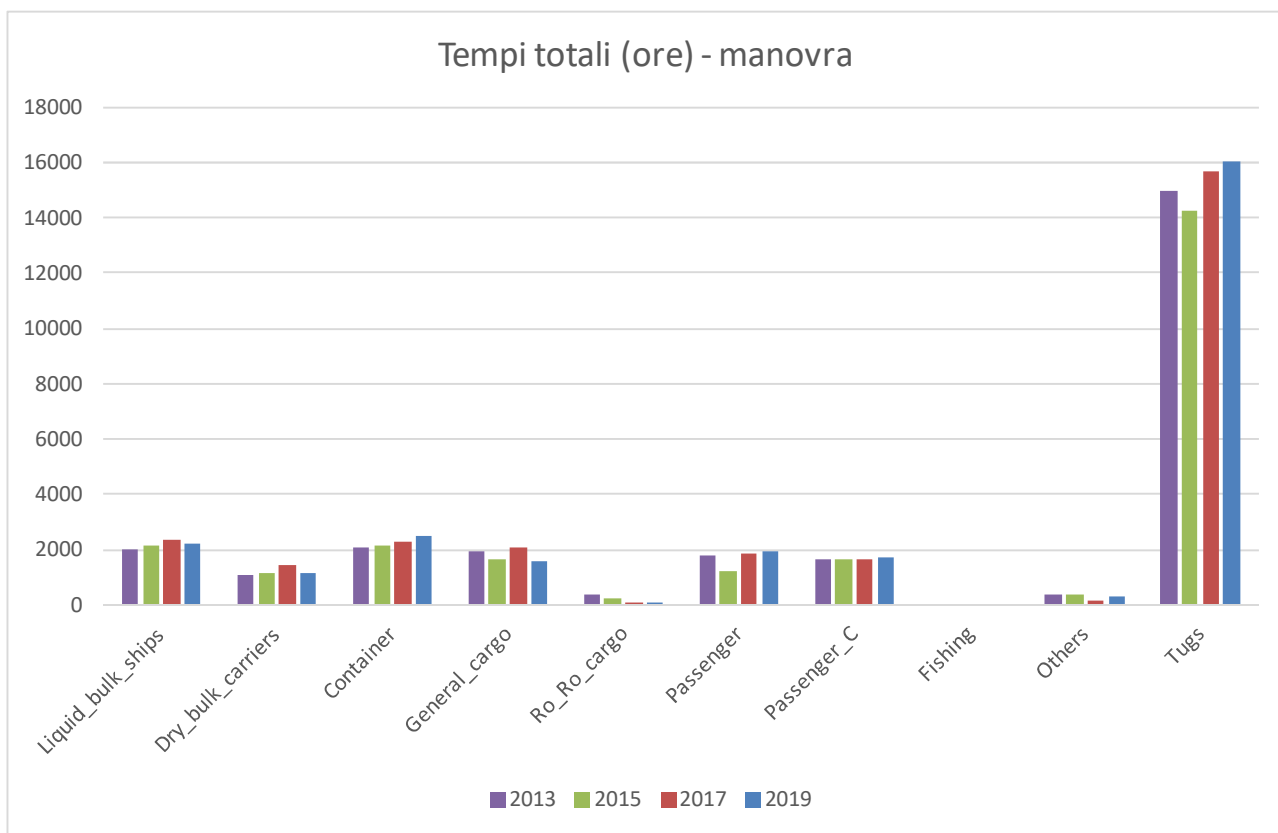
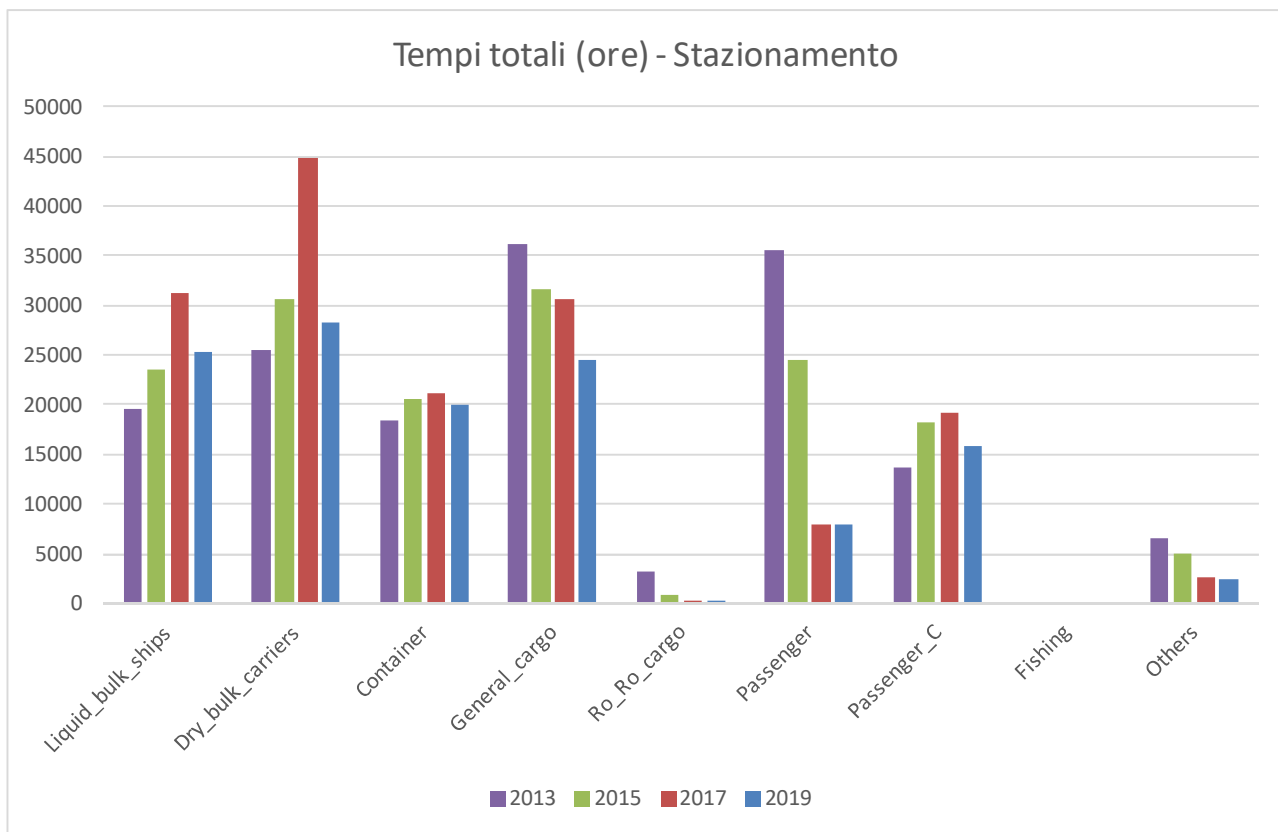


Figura 11: confronto dei tempi totali di stazionamento (sopra) e manovra (sotto) nelle varie edizioni INEMAR Veneto

Di seguito sono presentati i grafici con la stima emissiva per i 3 macroinquinanti: NOx. PM. SO<sub>2</sub>. Le differenze delle stime emissive sono spiegabili con le differenze dei tempi totali (v. Figura 11) e della stazza media delle navi in approdo nelle diverse annualità. Rimangono invariati invece i fattori di emissione, i *load factor* e il tenore di zolfo nelle varie fasi, ad eccezione per i tugs per i quali, come sopra sottolineato, è stato applicato nel 2019 un fattore di carico inferiore rispetto alle annualità precedenti.

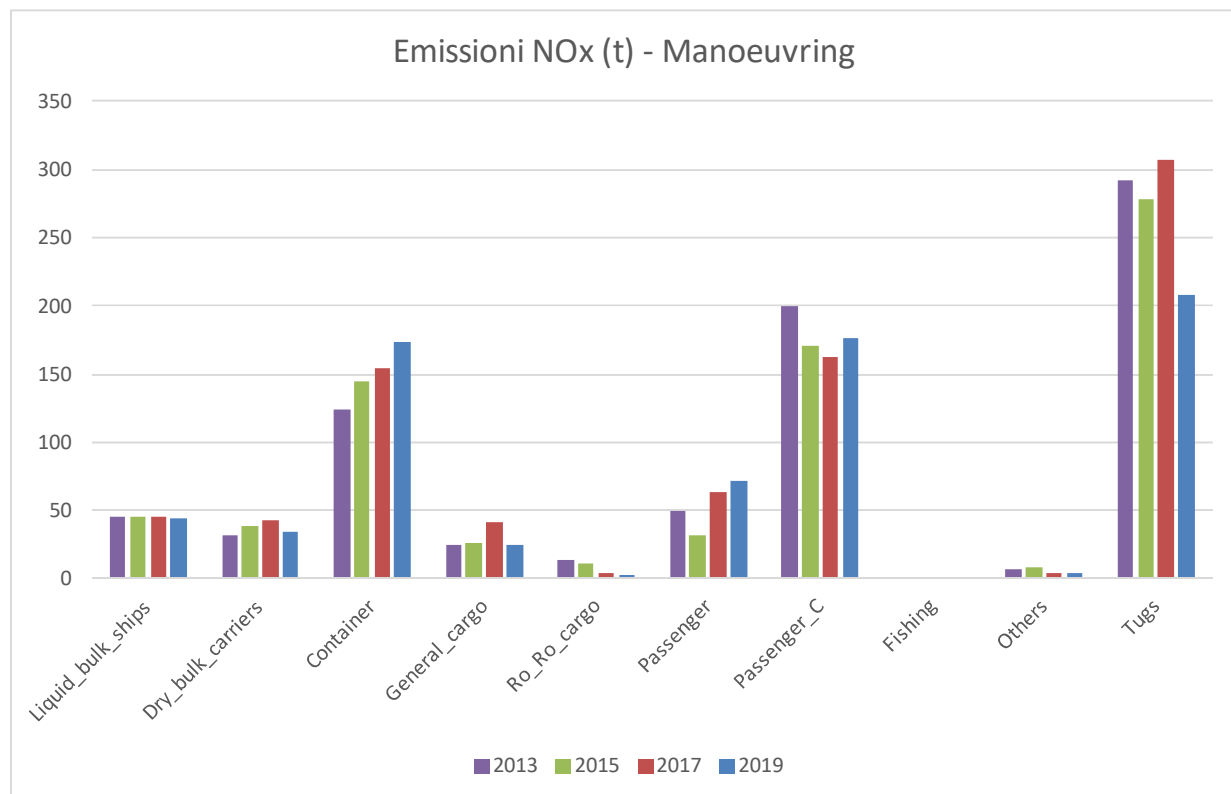
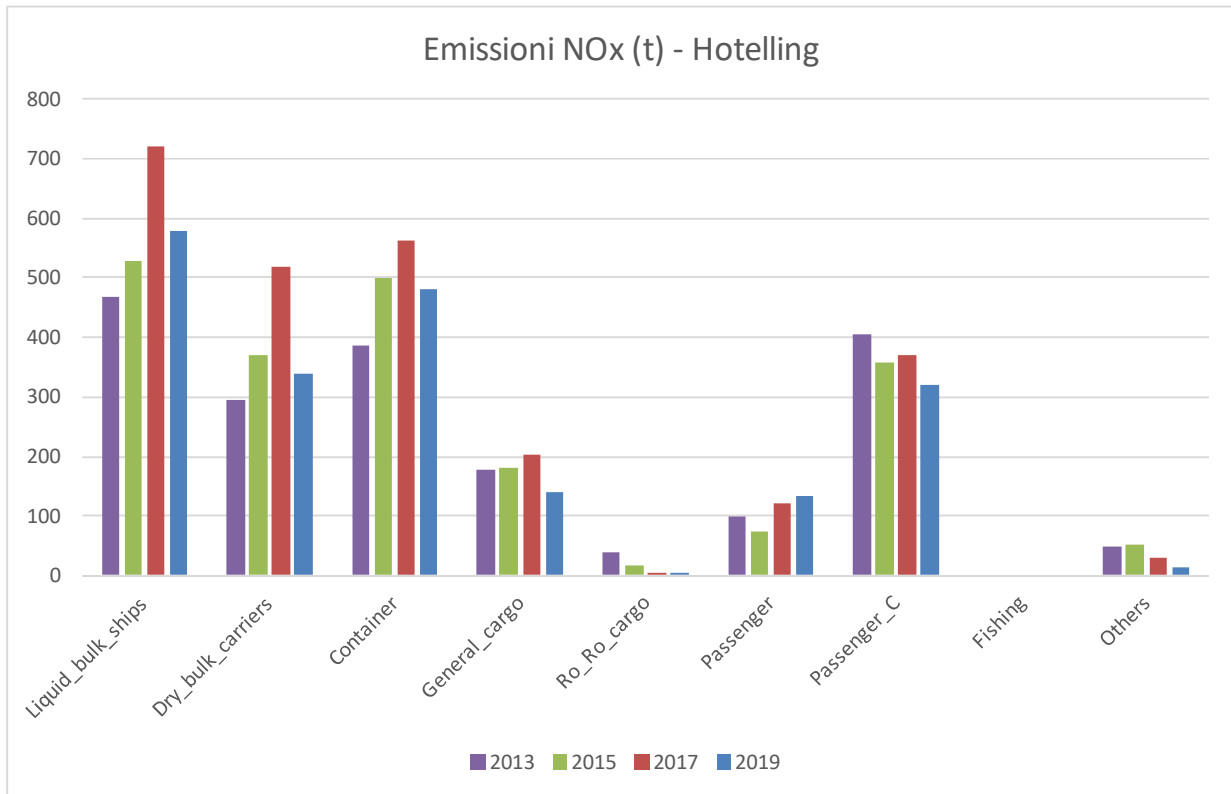


Figura 12: emissioni di NOx in stazionamento (sopra) e manovra (sotto) nelle varie edizioni INEMAR Veneto



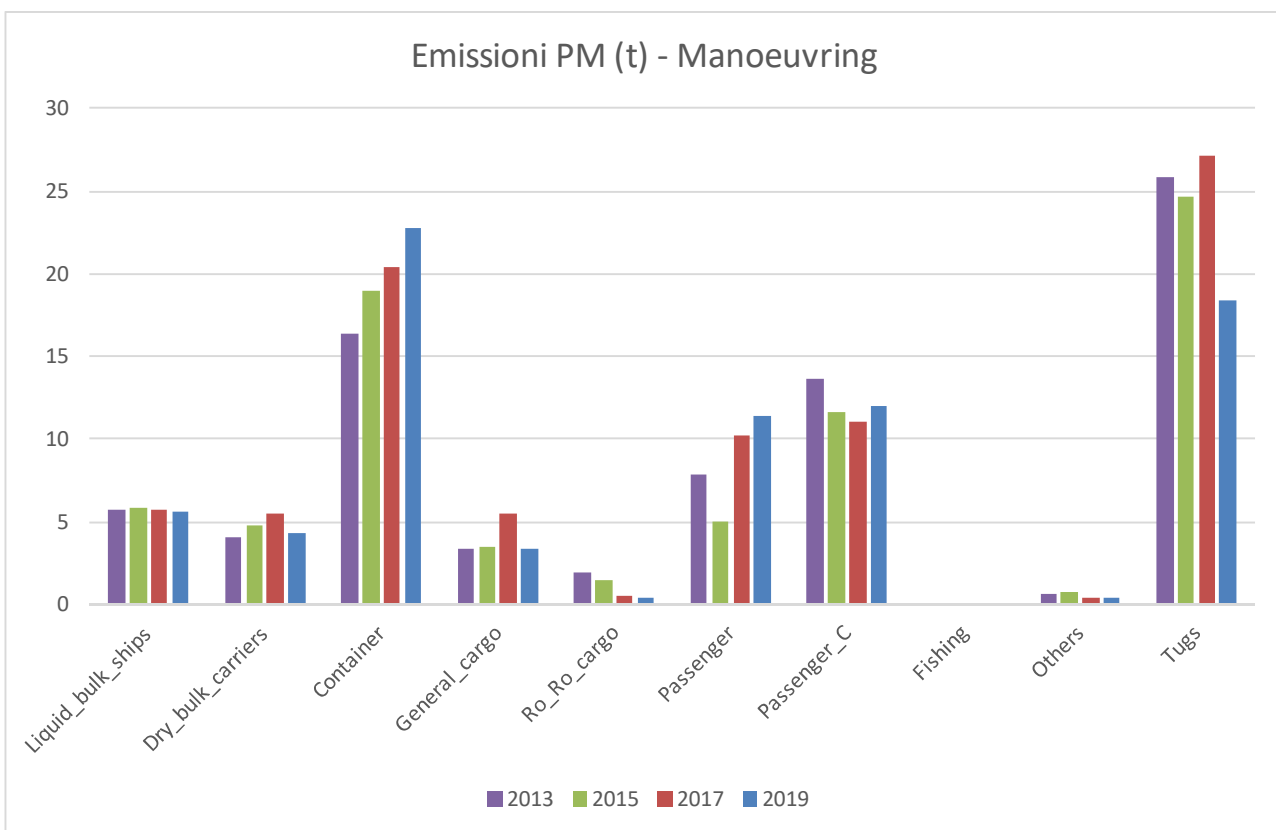
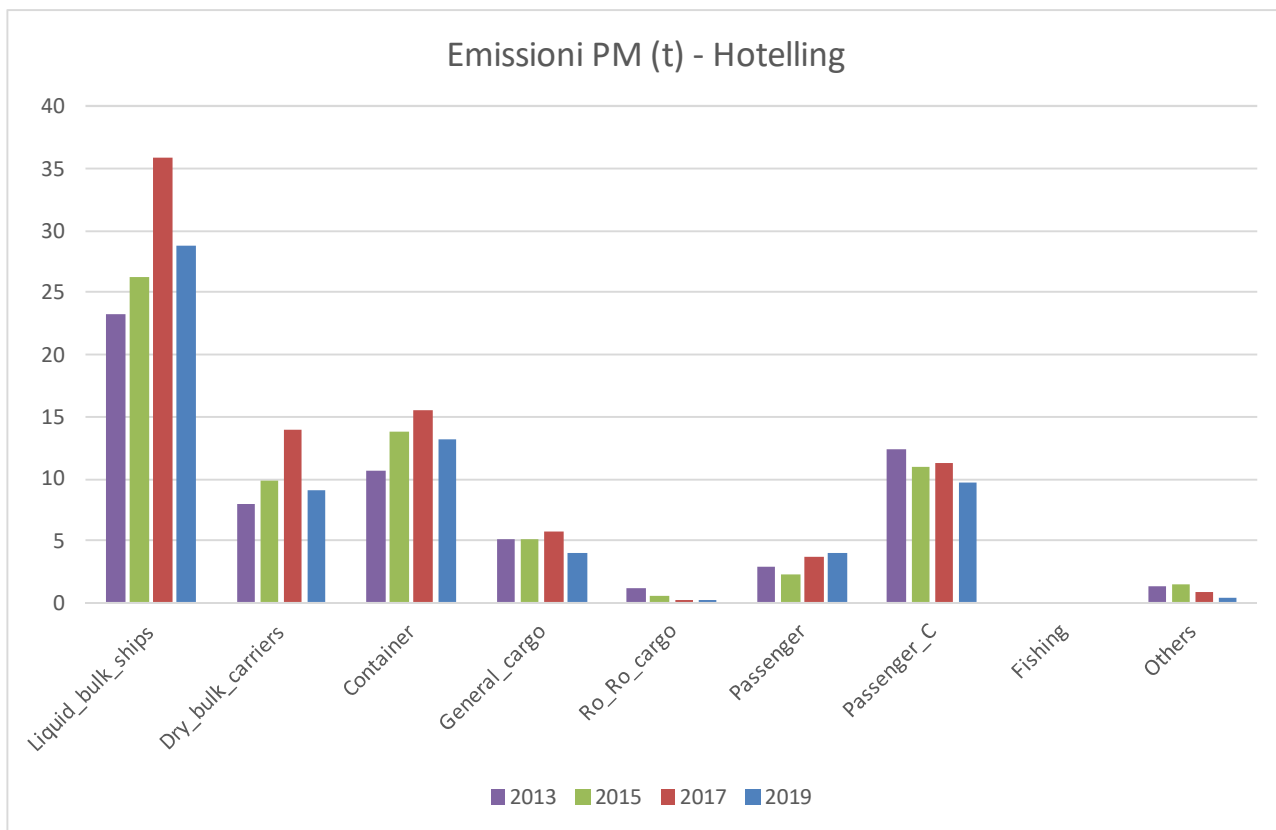


Figura 13: emissioni di PM in stazionamento (sopra) e manovra (sotto) nelle varie edizioni INEMAR Veneto

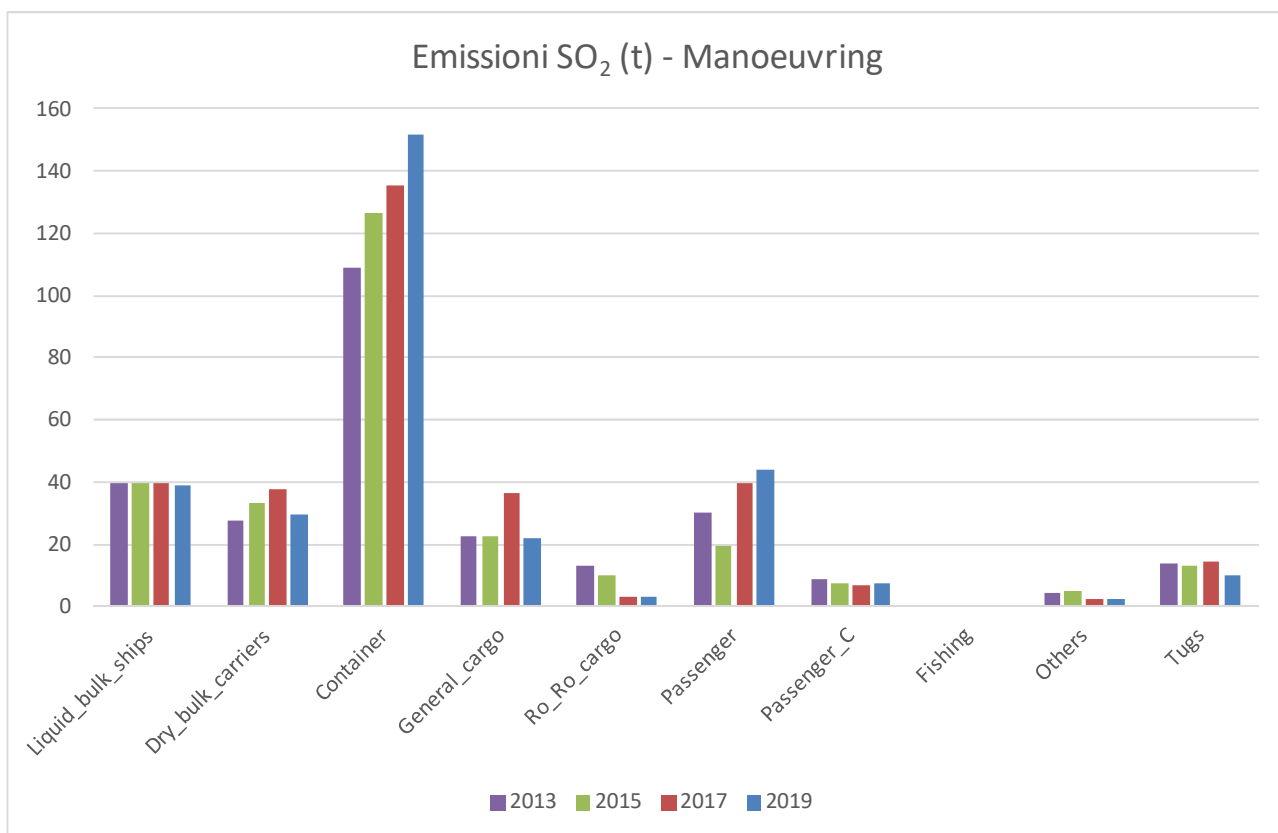
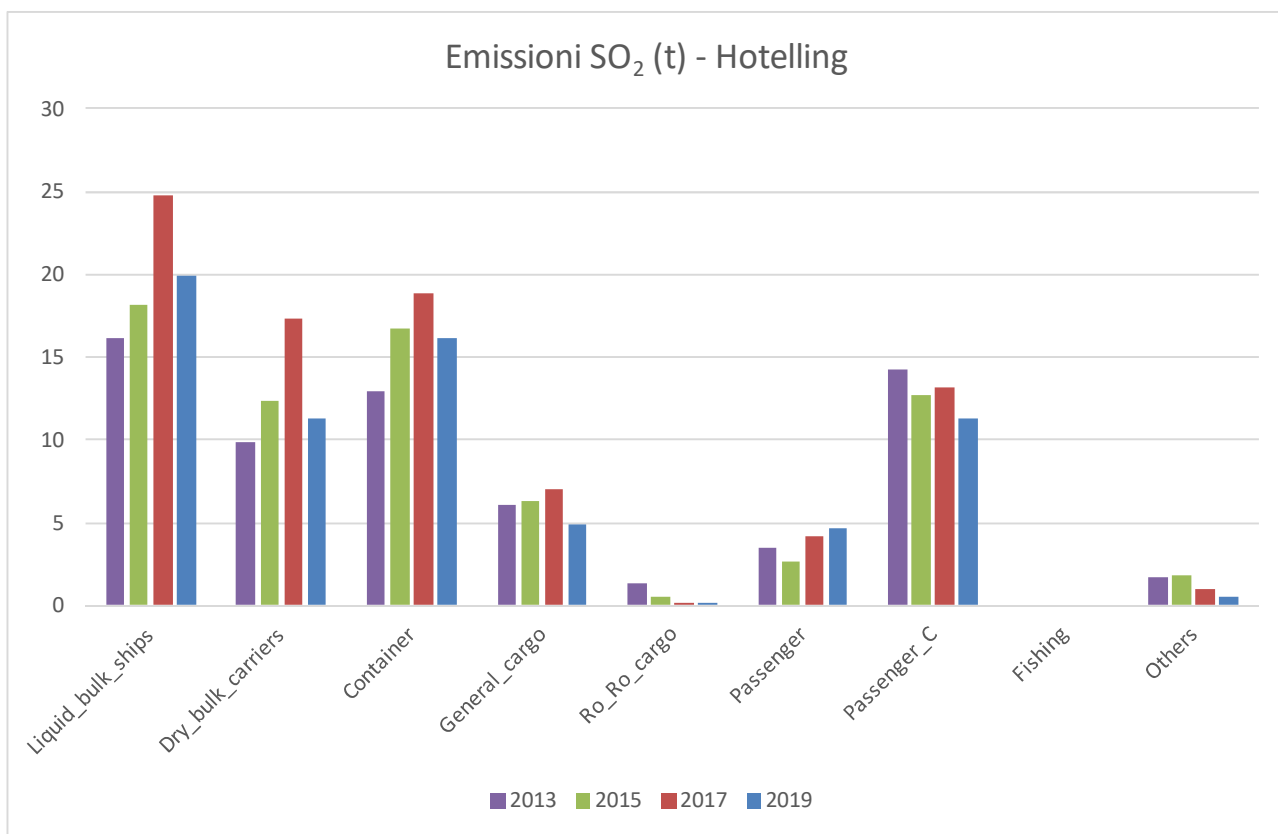


Figura 14: emissioni di SO<sub>2</sub> in stazionamento (sopra) e manovra (sotto) nelle varie edizioni INEMAR Veneto

## Applicazione della stima: confronto con le concentrazioni misurate

Uno dei possibili risultati della metodologia di stima delle emissioni condotta con il software BUH è la serie annuale di tutti i dati orari di emissione dei diversi inquinanti divisa per Terminal e per fase di manovra. Questo output del programma associa a ciascuna ora dell'anno 2019 l'emissione prodotta dal traffico marittimo per ciascun inquinante considerato nella stima, per ciascun terminal (Venezia e Marghera), per ciascuna fase di navigazione (stazionamento, manovra, crociera nelle acque territoriali, crociera fuori dalle acque territoriali), considerando anche separatamente il contributo dei rimorchiatori a servizio nei diversi Terminal. Tale output è stato originariamente sviluppato come base di partenza delle stime modellistiche prodotte per i progetti MED APICE e CAIMANs.

Nel seguito la stima delle emissioni condotta con il software BUH è stata utilizzata per studiare la correlazione tra la serie oraria dei dati di emissione prodotta dalle attività portuali e la serie oraria dei dati di concentrazione rilevati - nel corso del 2019 - presso le stazioni fisse della Rete regionale ARPAV di Rio Novo e Sacca Fisola a Venezia (Figura 15).



Figura 15: rappresentazione geografica dei Terminal di Venezia e delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria

Si riportano di seguito alcune **statistiche descrittive** relative agli inquinanti monitorati presso Rio Novo e Sacca Fisola nel 2019.

Tabella 2: statistiche descrittive relative alle concentrazioni rilevate presso le stazioni di Rio Novo e Sacca Fisola nel 2019

	RIO NOVO						SACCA FISOLA				
	CO mg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>X</sub> µg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>	PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>	PM <sub>2.5</sub> µg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>X</sub> µg/m <sup>3</sup>	O <sub>3</sub> µg/m <sup>3</sup>	PM <sub>10</sub> µg/m <sup>3</sup>
MINIMO	<L.R.	<L.R.	<L.R.	<L.R.	<L.R.	<L.R.	<L.R.	<L.R.	<L.R.	<L.R.	4
MASSIMO	2,6	282	1333	213	143	122	14	144	634	214	146
MEDIA	0,5	51	99	43	29	21	<L.R.	29	53	54	34
MEDIANA	0,4	47	74	37	23	16	<L.R.	27	36	49	28
DEVIAZIONE STANDARD	0,3	29	90	35	21	18	<L.R.	21	57	38	21

Per completezza si fornisce di seguito la valutazione sintetica della **qualità dell'aria** rilevata nel 2019 presso le due stazioni citate, con riferimento ai valori limite previsti dal D. Lgs. 155/2010.

Presso la stazione di Rio Novo:

- le concentrazioni di monossido di carbonio non hanno mai superato i limiti di legge a mediazione di breve periodo;
- la media annuale delle concentrazioni di PM<sub>2.5</sub> è risultata pari a 21 µg/m<sup>3</sup>, inferiore al valore limite annuale pari a 25 µg/m<sup>3</sup>;
- la media delle concentrazioni di PM<sub>10</sub> è stata pari a 29 µg/m<sup>3</sup>, inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m<sup>3</sup>. Tuttavia la concentrazione di polveri PM<sub>10</sub> ha superato il valore limite giornaliero per la protezione della salute umana, pari a 50 µg/m<sup>3</sup>, per un totale di 46 giorni di superamento su 360 complessivi di misura, quindi per un numero di giorni superiore ai 35 consentiti in un anno civile;
- la concentrazione media oraria di ozono non ha mai superato la soglia di allarme, pari a 240 µg/m<sup>3</sup>, mentre la soglia di informazione, pari a 180 µg/m<sup>3</sup>, è stata superata in 7 ore nella giornata del 27 giugno 2019. L'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana pari a 120 µg/m<sup>3</sup> è stato superato in 22 giorni su 25 consentiti come media su 3 anni;
- la concentrazione di biossido di azoto ha superato il valore limite orario di 200 µg/m<sup>3</sup> in 6 ore su 18 consentite; la media annuale delle concentrazioni è stata pari a 51 µg/m<sup>3</sup>, superiore al valore limite annuale per il biossido di azoto pari a 40 µg/m<sup>3</sup>.

Presso la stazione di Sacca Fisola:

- le concentrazioni di biossido di zolfo non hanno mai superato i limiti di legge a mediazione di breve periodo;
- la media delle concentrazioni di PM<sub>10</sub> è stata pari a 34 µg/m<sup>3</sup>, inferiore al valore limite annuale di 40 µg/m<sup>3</sup>. Tuttavia la concentrazione di polveri PM<sub>10</sub> ha superato il valore limite giornaliero per la protezione della salute umana, pari a 50 µg/m<sup>3</sup>, per un totale di 57 giorni di superamento su 364 complessivi di misura, quindi per un numero di giorni superiore ai 35 consentiti in un anno civile;

- la concentrazione media oraria di ozono non ha mai superato la soglia di allarme, pari a  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre la soglia di informazione, pari a  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , è stata superata in 7 ore nella giornata del 27 giugno 2019. L'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana pari a  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  è stato superato in 48 giorni su 25 consentiti come media su 3 anni;
- la concentrazione di biossido di azoto non ha mai superato il valore limite orario di  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; la media annuale delle concentrazioni è stata pari a  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , inferiore al valore limite annuale per il biossido di azoto pari a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### **Metodo statistico di correlazione tra misure e stime emissive**

Nel presente paragrafo si sviluppa quantitativamente l'analisi dell'associazione temporale tra la serie delle misure orarie di ciascuno dei 2 siti di monitoraggio e le corrispondenti stime emissive ottenute da BUH. Dato che le suddette stazioni di monitoraggio sono posizionate ad una distanza di circa 4 km sopravento ai Terminal di Marghera, Fusina e San Leonardo, ai fini dell'analisi di correlazione sono state utilizzate le emissioni prodotte esclusivamente dai Terminal della Stazione Marittima e di San Basilio/Santa Marta.

Si evidenzia come la correlazione tra due set di dati non dipenda dai valori assoluti assunti dalle grandezze in esame bensì dalla rispettiva variazione relativa: una correlazione positiva significa che all'aumentare di una grandezza si associa anche l'aumento dell'altra. A tale fine le serie dei dati da confrontare sono state preventivamente normalizzate in modo da ottenere una serie con media pari a 0 e deviazione standard pari a 1. Inoltre sono stati esclusi dal confronto tutti i dati orari mancanti.

Per ciascuno dei 2 siti in questione e per ciascun inquinante monitorato, è stata calcolata la correlazione misura-emissione prendendo in considerazione sia l'emissione associata al singolo terminal e alla specifica fase di manovra, che l'output emissivo composto dalla somma dei contributi dei due terminal e delle diverse fasi di manovra sul punto di misura. Sono state prese in considerazione la correlazione calcolata mediante il coefficiente di correlazione lineare di Pearson, adatto a serie di dati che seguono una distribuzione di tipo normale, e la correlazione non parametrica di Spearman, che più correttamente si applica a serie di dati che non seguono un andamento normale. Si precisa, comunque, che una correlazione positiva e significativa tra due grandezze non dà alcuna informazione definitiva circa la relazione causa effetto tra le coppie di grandezze indagate. Una correlazione positiva significativa potrebbe essere infatti associata ad una coincidenza nella simultanea variazione delle grandezze indagate o ad una dipendenza comune da un fattore causa per entrambe. Questo è un caso tipico della ricerca ambientale, dove non sono rari i casi di correlazione significativa tra due grandezze dovute, in realtà, alla dipendenza da un terzo fattore che agisce su entrambe e che nella ricerca non viene primariamente indagato. Nel caso in questione, si stanno in realtà trattando due serie di dati completamente diverse: da una parte le misure di concentrazione ambientale e dall'altra la stima ottenuta con un metodo che calcola le emissioni sulla base del calendario del traffico marittimo. Questa precisazione è importante, perché si vuole sottolineare come la presente analisi non possa di ritenersi esaustiva nell'indagare le relazioni causa effetto, quanto invece dare alcuni ulteriori elementi di ragionamento e di conoscenza rispetto a quanto finora approfondito.

In Tabella 3 sono presentati i coefficienti di correlazione di Pearson e di Spearman affiancati dai relativi livelli di significatività (*p value*); sono evidenziate in grassetto (e su fondo bianco) le correlazioni che risultano significative con un errore inferiore all'1% (*p value* minore di 0.01). I valori positivi della correlazione corrispondono a variazioni delle grandezze analizzate che seguono lo stesso verso: all'aumentare di una grandezza si associa l'aumento dell'altra; al contrario, valori negativi della correlazione corrispondono a variazioni opposte. Nel caso in esame, prendendo in considerazione solo le correlazioni che risultano significative, non si riscontrano coefficienti di correlazione superiori a 0.1 in valore assoluto,

né con la correlazione lineare di Pearson, né con la correlazione non parametrica di Spearman. Trattandosi di valori estremamente piccoli, si può concludere che non si evidenziano correlazioni significative tra le due serie di dati. A questo proposito, si ricorda che: le due stazioni di monitoraggio – per loro natura – non si trovano esattamente sotto vento all’insieme delle attività marittime; da studi precedenti, che hanno considerato l’altezza delle emissioni delle navi, è emerso che i punti di massima ricaduta delle attività marittime sono collocati a sud ovest rispetto al centro storico di Venezia, ma ad una distanza maggiore rispetto a quella delle stazioni considerate; non è possibile ricondurre le misure di una centralina alla presenza di una singola sorgente, in quanto i valori registrati sono il risultato della presenza contemporanea di più fonti emmissive.

Tabella 3: Matrice di correlazione tra misure ed emissioni stimate. In grassetto e su fondo bianco sono evidenziati i coefficienti di correlazione (“Statistics”) per i quali l’errore (“p(uncorr)”) è inferiore all’1% (minore di 0.01). “HOT\_n”= fase di stazionamento al terminal n – “MAN\_n”= fase di manovra verso/da terminal n – “TUG\_n”= rimorchiatori verso/da terminal n.

NO RIO NOVO	Linear r Pearson		Spearman's rs	
	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)
NOX_EMIS_HOT_1	<b>-0.06</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.07</b>	<b>0.00</b>
NOX_EMIS_MAN_1	-0.02	0.03	0.02	0.05
NOX_EMIS_TUG_1	-0.02	0.03	0.02	0.14
NOX_EMIS_HOT_2	<b>-0.08</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.03</b>	<b>0.01</b>
NOX_EMIS_MAN_2	-0.02	0.10	<b>0.11</b>	<b>0.00</b>
NOX_EMIS_TUG_2	<b>-0.03</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.03</b>	<b>0.00</b>
NOX_EMIS_TOT	<b>-0.06</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.05</b>	<b>0.00</b>

SO2 SACCA FISOLA	Linear r Pearson		Spearman's rs	
	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)
SO2_EMIS_HOT_1	<b>0.03</b>	<b>0.01</b>	0.01	0.20
SO2_EMIS_MAN_1	0.01	0.29	0.00	0.82
SO2_EMIS_TUG_1	0.01	0.29	0.01	0.45
SO2_EMIS_HOT_2	<b>-0.03</b>	<b>0.01</b>	<b>-0.04</b>	<b>0.00</b>
SO2_EMIS_MAN_2	-0.01	0.27	<b>-0.03</b>	<b>0.01</b>
SO2_EMIS_TUG_2	-0.01	0.40	-0.01	0.19
SO2_EMIS_TOT	0.02	0.09	0.00	0.85

PM10 RIO NOVO	Linear r Pearson		Spearman's rs	
	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)
PM_EMIS_HOT_1	<b>-0.09</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.11</b>	<b>0.00</b>
PM_EMIS_MAN_1	-0.01	0.48	-0.04	0.01
PM_EMIS_TUG_1	-0.01	0.51	-0.02	0.11
PM_EMIS_HOT_2	<b>-0.09</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.13</b>	<b>0.00</b>
PM_EMIS_MAN_2	-0.02	0.24	0.03	0.06
PM_EMIS_TUG_2	-0.02	0.12	-0.01	0.40
PM_EMIS_TOT	<b>-0.04</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.12</b>	<b>0.00</b>

NO SACCA FISOLA	Linear r Pearson		Spearman's rs	
	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)
NOX_EMIS_HOT_1	<b>-0.03</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.06</b>	<b>0.00</b>
NOX_EMIS_MAN_1	-0.02	0.13	0.02	0.07
NOX_EMIS_TUG_1	-0.02	0.07	0.02	0.04
NOX_EMIS_HOT_2	<b>-0.09</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.04</b>	<b>0.00</b>
NOX_EMIS_MAN_2	-0.02	0.07	<b>0.14</b>	<b>0.00</b>
NOX_EMIS_TUG_2	<b>-0.04</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.05</b>	<b>0.00</b>
NOX_EMIS_TOT	<b>-0.04</b>	<b>0.00</b>	-0.02	0.03

CO RIO NOVO	Linear r Pearson		Spearman's rs	
	Statistics	p(uncorr)	Statistics	p(uncorr)
CO_EMIS_HOT_1	<b>-0.14</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.17</b>	<b>0.00</b>
CO_EMIS_MAN_1	<b>-0.07</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.07</b>	<b>0.00</b>
CO_EMIS_TUG_1	<b>-0.07</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.07</b>	<b>0.00</b>
CO_EMIS_HOT_2	<b>-0.11</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.05</b>	<b>0.00</b>
CO_EMIS_MAN_2	-0.01	0.21	<b>0.13</b>	<b>0.00</b>
CO_EMIS_TUG_2	<b>-0.04</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.04</b>	<b>0.00</b>
CO_EMIS_TOT	<b>-0.12</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.15</b>	<b>0.00</b>

### **Metodo ON-OFF di correlazione tra misure e stime emissive**

Come ulteriore approfondimento nell'ambito del presente studio, nel seguito si propone un'analisi che mira a indagare l'eventuale correlazione tra i valori più elevati di concentrazione rilevati in aria ambiente e la presenza di emissioni di inquinanti in atmosfera legate al traffico marittimo. In considerazione della variabilità delle misure di concentrazione durante la giornata o tra stagioni, si è ritenuto utile analizzare con un altro approccio la correlazione tra le misure e la presenza contestuale di emissioni da attività portuali, limitando l'analisi alle misure al di sopra di una certa soglia.

A partire dai dati di emissione stimati e dai dati di concentrazione misurati presso i siti di Sacca Fisola e di Rio Novo, si è cercato di verificare una possibile corrispondenza tra le ore in cui è presente un 'evento emissivo' e quelle in cui si è registrato un 'picco di concentrazione'. Per ciascun sito di monitoraggio gli inquinanti considerati sono gli stessi del metodo precedente: biossido di zolfo e ossidi di azoto a Sacca Fisola, PM10, monossido di carbonio e ossidi di azoto a Rio Novo. Per ciascun inquinante, si è definito 'picco di concentrazione' la concentrazione oraria maggiore della media giornaliera. Per quanto riguarda le emissioni, si è in presenza di un 'evento emissivo' quando, in una determinata ora, la somma delle emissioni associate alle singole fasi di navigazione è maggiore di zero.

Allo scopo di affinare lo studio, si è deciso di limitare l'analisi alle ore dell'anno 2019 in cui i siti di monitoraggio possano dirsi sottovento rispetto alle emissioni: sono stati quindi analizzati i dati di vento della stazione meteorologica ARPAV più vicina (n. 160 - Cavallino Treporti - VE) e si è assunto che: il sito di monitoraggio di Sacca Fisola sia sottovento rispetto alle emissioni del porto quando la direzione prevalente del vento è compresa nel primo e quarto quadrante, ovvero tra i 270°N e i 90°N; il sito di Rio Novo sia sottovento quando la direzione prevalente del vento è compresa tra i 135°N e i 315°N.

La metodologia appena descritta ha permesso di confermare le conclusioni dell'analisi condotta al precedente paragrafo: in generale la presenza contemporanea di 'picco di concentrazione' ed 'evento emissivo' si riscontra raramente, in una percentuale di casi compresa tra l'1% ed il 26%. In particolare, la contemporaneità si verifica nell'1% dei casi a Sacca Fisola per il biossido di zolfo e nel 26% a Sacca Fisola per gli ossidi di azoto. Per quanto detto, nella maggior parte dei casi non si riscontra la coincidenza delle due situazioni.

In riferimento alle percentuali citate, si è approfondito il caso degli ossidi di azoto a Sacca Fisola, che hanno evidenziato la percentuale più alta di corrispondenza, pari al 26%. E' stato osservato che nella maggior parte dei casi (64%) in cui si presentano contemporaneamente 'picco di concentrazione' ed 'evento emissivo' è presente un'emissione continuativa legata alle fasi di stazionamento.

## Conclusioni

Nella presente relazione è stata discussa la stima delle emissioni in atmosfera prodotte dal traffico navale del porto di Venezia relativo all'anno 2019.

La stima è stata elaborata grazie alla collaborazione nella preparazione della base dati con l'Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Settentrionale, con cui ARPAV ha sottoscritto un accordo di collaborazione ai sensi dell'art. 15 della Legge 241/90 con l'obiettivo di *“approfondire la conoscenza della qualità dell'aria nel territorio comunale di Venezia relativamente alla problematica delle emissioni atmosferiche legate al traffico navale”*.

Le emissioni dell'attività del porto di Venezia dell'anno 2019 sono state discusse in funzione della fase di ormeggio e manovra, della tipologia di nave secondo la classificazione EMEP (compresi i rimorchiatori) e dell'inquinante, compresi metalli e microinquinanti. A completamento della discussione dei risultati di stima, sono state presentate le emissioni unitarie di ciascuna categoria navale, con valori distinti per lo stazionamento e la manovra. Inoltre la stima ottenuta per l'anno 2019 è stata confrontata con le altre annualità precedenti disponibili dall'anno 2013.

Si ritiene che tale caratterizzazione dell'attività del porto possa essere utile per focalizzare le categorie e le fasi più emissive e, di conseguenza, orientare e supportare la scelta di eventuali azioni di mitigazione che AdSPMAS ritenesse necessarie.

Le stime prodotte e qui discusse sono state infine valorizzate per il prosieguo delle attività dell'accordo di collaborazione e, in particolare, per gli approfondimenti relativi alla situazione di qualità dell'aria registrate dalle stazioni di monitoraggio di Sacca Fisola e Rio Novo (rif. Punto 13 art. 2 accordo). A conclusione dell'attività prevista, non si sono evidenziate correlazioni significative tra le misure e le stime emissive.



## Riferimenti bibliografici essenziali e sitografia

- <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/qualita-dellaria/approfondimenti/inquinamento-atmosferico-in-ambito-portuale/approfondimenti>
- <https://www.arpa.veneto.it/dati-ambientali/open-data/atmosfera/dati-comunali-emissioni-inemar-veneto>
- ARPAV, 2016. PRTRA AZIONE A8.6bis Studio modellistico di ricaduta degli inquinanti emessi in fase di manovra e di ormeggio per le navi in attracco ai diversi ormeggi di Venezia insulare e Porto Marghera. [https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/file-e-allegati/applicazioni-modellistiche/Report\\_azione%208.6bis\\_def.pdf](https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/aria/file-e-allegati/applicazioni-modellistiche/Report_azione%208.6bis_def.pdf)
- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 – Updated Oct. 2020. 1.A.3.d Navigation (shipping) 2019.
- Entec (2002), “European Commission, Quantification of emissions from ships as associated with ship movements between ports in the European Community”, Final Report, July 2002, Entec UK Limited, [http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/chapter1\\_ship\\_emissions.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/chapter1_ship_emissions.pdf)
- IPCC (2006)
- Gissi, E., Quaglia, T. (a cura di), 2013. Qualità dell'aria nella laguna di Venezia. APICE: verso la riduzione dell'inquinamento atmosferico, Franco Angeli, Milano, ISBN 978-88-204-1983-7
- F. Liguori (a cura di), 2012. Il progetto MED-APICE, capitolo del Focus su PORTI, AEROPORTI E INTERPORTI. VIII Rapporto Qualità dell'ambiente urbano. Edizione 2012. ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, Settembre 2012. ISBN 978-88-448- 0562-3. <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/stato-dellambiente/focus-su-porti-aeroporti-e-interporti/>
- AA,VV, 2013. Reducing atmospheric pollution in the Mediterranean Port Cities - The results of APICE project. ARPAV febbraio 2012, Padova ISBN 978-88-7504-166-3. [http://www.apice-project.eu/img\\_web/pagine/files/Publication/Final%20Publication.pdf](http://www.apice-project.eu/img_web/pagine/files/Publication/Final%20Publication.pdf).
- Salameh, D., et al. (2015). PM2.5 chemical composition in five European Mediterranean cities: A 1-year study. Atmospheric Research VOL - 155, pp 102-117, 2015/3/15.
- AA,VV (2015). Air Quality Impact and Green House Gases Assessment for Cruise and Passenger Ships. Results of the first step of CAIMANs project. [http://www.medmaritimeprojects.eu/download/ProjectCaimans/output/CAIMANs\\_Final\\_Report\\_partA.pdf](http://www.medmaritimeprojects.eu/download/ProjectCaimans/output/CAIMANs_Final_Report_partA.pdf)
- F. Liguori, S. Pillon, S. Patti, 2016. Progetto MED-CAIMANs. L'esposizione della popolazione agli inquinanti atmosferici dovuti alle navi crociera a Venezia: confronto tra scenario attuale e scenari futuri di sviluppo e di mitigazione, capitolo del Focus su Inquinamento atmosferico nelle aree urbane ed effetti sulla salute. XII Rapporto Qualità dell'ambiente urbano. Edizione 2016. ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, Dicembre 2016. ISBN 978-88-448-0794-8. [http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/statoambiente/FOCUS\\_RAU\\_2016\\_COMPLETO.pdf/view](http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/statoambiente/FOCUS_RAU_2016_COMPLETO.pdf/view)
- Salvatore Patti, Silvia Pillon, Francesca Liguori, 2017. L'INQUINAMENTO DA TRAFFICO MARITTIMO A VENEZIA, in Ecoscienza N.1, anno 2017. [https://www.arpae.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/ecoscienza/ecoscienza2017\\_1/patti\\_et\\_al\\_es2017\\_01.pdf](https://www.arpae.it/cms3/documenti/_cerca_doc/ecoscienza/ecoscienza2017_1/patti_et_al_es2017_01.pdf).
- CAIMANs
- Porto di Venezia. <https://www.port.venice.it/it/porti.html>
- [https://www.isprambiente.gov.it/files2020/pubblicazioni/documenti-tecnici/relazione-zolfo-2019\\_rev1.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files2020/pubblicazioni/documenti-tecnici/relazione-zolfo-2019_rev1.pdf)

Unità Organizzativa Qualità Aria  
Via Lissa 6  
30171 Mestre – Venezia  
Italy  
E-mail: [orar@arpa.veneto.it](mailto:orar@arpa.veneto.it)

Settembre 2022



**ARPAV**

Agenzia Regionale  
per la Prevenzione e  
Protezione Ambientale  
del Veneto

Direzione Generale  
Via Ospedale Civile, 24  
35121 Padova

Italy

tel. +39 049 82 39 301

fax. +39 049 66 09 66

e-mail: [urp@arpa.veneto.it](mailto:urp@arpa.veneto.it)

e-mail certificata: [DRQA@pec.arpav.it](mailto:DRQA@pec.arpav.it)

[www.arpa.veneto.it](http://www.arpa.veneto.it)