



Eni SpA

Raffineria di Livorno

Bioraffineria Livorno

Valutazione di Impatto Sanitario

Integrazioni in risposta alla nota “AOO-ISS - 15/03/2024

- 0012026 Class: DAS 01.00”

***Allegato 5: Approfondimenti sulla stima delle emissioni
da traffico navale***

REV.	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	VALIDATO	DATA
0	Prima Emissione	V. Capiaghi (HPC)	M. Pellegatta (HPC)	A. Cappellini (HPC)	Aprile 2024





Di seguito si forniscono ulteriori dettagli rispetto a quanto già descritto nell'Appendice 3 Allegato B della Valutazione di Impatto Sanitario trasmessa a febbraio 2024, in merito agli elementi utilizzati per la stima delle emissioni prodotte dal traffico navale associato alla Raffineria nei due scenari ante e post operam, secondo la metodologia EMEP/EEA 2023¹. La metodologia prevede il calcolo delle emissioni generate dalle navi in funzione dell'utilizzo dei motori principali e ausiliari durante le fasi di manovra e attracco in porto delle navi, per classe di capacità lorda della nave (tonnellate).

- STEP 1: Identificazione dei coefficienti per il calcolo della potenza dei motori

Di seguito si riportano le tabelle della metodologia EMEP/EEA 2023 da cui sono stati desunti i coefficienti per il calcolo della potenza dei motori. Nello specifico, la tabella 3.17 definisce il coefficiente per il calcolo della potenza installata dei motori principali in funzione della capacità della nave in tonnellate (GT), mentre la tabella 3.18 definisce il rapporto tra la potenza installata dei motori ausiliari rispetto a quelli principali. Nel caso in esame sono state selezionate le *liquid bulk ship* per la flotta *2010 world fleet*.

¹ [1.A.3.d Navigation \(shipping\) 2023 — European Environment Agency \(europa.eu\)](https://european-council.europa.eu/media/en/press-communications/infographic/infographic_navigation_shipping_2023.pdf)

Table 3-17 Installed main engine power as a function of gross tonnage (GT)

Ship categories	2010 world fleet	1997 world fleet	Mediterranean Sea fleet (2006)
Liquid bulk ships	14.755*GT ^{0.6082}	29.821*GT ^{0.5552}	14.602*GT ^{0.6278}
Dry bulk carriers	35.912*GT ^{0.5276}	89.571*GT ^{0.4446}	47.115*GT ^{0.504}
Container	2.9165*GT ^{0.8719}	1.3284*GT ^{0.9303}	1.0839*GT ^{0.9617}
General Cargo	5.56482*GT ^{0.7425}	10.539*GT ^{0.6760}	1.2763*GT ^{0.9154}
Ro Ro Cargo	164.578*GT ^{0.4350}	35.93*GT ^{0.5885}	45.7*GT ^{0.5237}
Passenger	9.55078*GT ^{0.7970}	1.39129*GT ^{0.9222}	42.966*GT ^{0.6035}
Fishing	9.75891*GT ^{0.7527}	10.259*GT ^{0.6919}	24.222*GT ^{0.5916}
Other	59.049*GT ^{0.5485}	44.324*GT ^{0.5300}	183.18*GT ^{0.4028}
Tugs	54.2171*GT ^{0.6420}	27.303*GT ^{0.7014}	

Source: Trozzi (2010) for 2010 and 1997 world fleets; Entec (2007) for 2006 Mediterranean Sea fleet; (for 1997 fleet a conversion 1 GT = 1.875 GRT was used)

Table 3-18: Estimated average vessel ratio of Auxilliary Engines / Main Engines by ship type

Ship categories	2010 world fleet	Mediterranean Sea fleet (2006)
Liquid bulk ships	0.30	0.35
Dry bulk carriers	0.30	0.39
Container	0.25	0.27
General Cargo	0.23	0.35
Ro Ro Cargo	0.24	0.39
Passenger	0.16	0.27
Fishing	0.39	0.47
Other	0.35	0.18
Tugs	0.10	

Source: Trozzi (2010) for 2010 world fleet; Entec (2007) for 2006 Mediterranean Sea fleet

La tabella 3.20 definisce la percentuale di carico dei motori principali e ausiliari durante le fasi di manovra ("Manoeuvring") e attracco ("Hotelling") in porto.

Table 3-20 Estimated % load of MCR (Maximum Continuous Rating) of Main and Auxilliary Engine for different ship activity

Phase	% load of MCR Main Engine	% time all Main Engine operating	% load of MCR Auxilliary Engine
Cruise	80	100	30
Manoeuvring	20	100	50
Hotelling (except tankers)	20	5	40
Hotelling (tankers)	20	100	60

Source: Entec (2002)

- STEP 2: Calcolo della potenza generata dai motori

Sulla base dei coefficienti sopra individuati, è stata calcolata la potenza, espressa in kW, per ogni classe di tonnellaggio della flotta navale.

Nello specifico:



- La potenza installata dei motori principali è stata ottenuta applicando la formula espressa nella tabella 3.17
- La potenza installata dei motori ausiliari è stata ottenuta moltiplicando la potenza installata dei motori principali per il rapporto definito nella tabella 3.18, pari a 0,3;
- Il carico medio dei motori principali durante le fasi di manovra e attracco è stato calcolato moltiplicando la potenza installata dei motori principali per i coefficienti definiti nella tabella 3.20 (0,2 per manovra e 0,2 per attracco)
- Il carico medio dei motori ausiliari durante le fasi di manovra e attracco è stato calcolato moltiplicando la potenza installata dei motori ausiliari per i coefficienti definiti nella tabella 3.20 (0,5 per manovra e 0,6 per attracco).

Nella tabella seguente si riportano i risultati ottenuti.

Capacità della nave (k ton)	3	5	8	10	15	20	25	30	40	75	90
Potenza installata motori principali (kW) (tabella 3.17)	2956	4926	7882	9852	14779	19705	24631	29557	39409	73893	88671
Potenza installata motori ausiliari (kW) (tabella 3.18)	887	1478	2365	2956	4434	5911	7389	8867	11823	22168	26601
Carico medio manovra – motori principali (kW) (tabella 3.20)	591	985	1576	1970	2956	3941	4926	5911	7882	14779	17734
Carico medio attracco – motori principali (kW) (tabella 3.20)	591	985	1576	1970	2956	3941	4926	5911	7882	14779	17734
Carico medio manovra – motori ausiliari (kW) (tabella 3.20)	443	739	1182	1478	2217	2956	3695	4434	5911	11084	13301
Carico medio attracco – motori ausiliari (kW) (tabella 3.20)	532	887	1419	1773	2660	3547	4434	5320	7094	13301	15961

- STEP 3: Definizione dei dati di input per le operazioni delle navi in porto

Come già descritto all'interno dell'Appendice 3 Allegato B della Valutazione di Impatto Sanitario trasmessa a febbraio 2024, i dati di input necessari per la stima delle emissioni prodotte dalle navi associate alla Raffineria nel porto di Livorno sono stati forniti dal Proponente per i due scenari AO e PO. Si riportano nuovamente di seguito le tabelle riepilogative.

Capacità della nave (k ton)	3	5	8	10	15	20	25	30	40	75	90
ANTE OPERAM											
numero di approdi all'anno	81	7	27	115	-	-	15	-	25	28	-



durata media manovra (h/approdo)	3	3	3	3	-	-	4	-	6	6	-
durata media attracco (h/approdo)	20	22	32	30	-	-	48	-	42	70	-
POST OPERAM											
numero di approdi all'anno	106	40	6	103	24	19	-	77	-	-	17
durata media manovra (h/approdo)	3	3	3	3	3	4	-	4	-	-	6
durata media attracco (h/approdo)	17	21	30	30	35	60	-	35	-	-	60

- STEP 4: Calcolo dell'energia associata alle attività in porto

Sulla base delle potenze calcolate nello STEP 2 e dei dati di input forniti dal Proponente nello STEP 3, è stato possibile calcolare l'energia relativa al funzionamento dei motori principali e ausiliari delle navi associate alle attività della Raffineria nei due scenari Ante Operam e Post Operam.

Nello specifico, per ogni tipologia di motore e per ogni tonnellaggio di nave è stata utilizzata la seguente formula, secondo la metodologia EMEP/EEA 2023:

$$Energia = [(Carico\ medio\ manovra\ kW * durata\ media\ manovra\ h) + (Carico\ medio\ attracco\ kW * durata\ media\ attracco\ h)] * n^{\circ}\ approdi\ all'anno$$

Nella tabella seguente si riportano i risultati ottenuti.

Capacità della nave (k ton)	3	5	8	10	15	20	25	30	40	75	90
ANTE OPERAM											
Energia motori principali (kWh/anno)	81	7	27	115	-	-	15	-	25	28	-
Energia motori ausiliari (kWh/anno)	3	3	3	3	-	-	4	-	6	6	-
POST OPERAM											
Energia motori principali (kWh/anno)	106	40	6	103	24	19	-	77	-	-	17
Energia motori ausiliari (kWh/anno)	3	3	3	3	3	4	-	4	-	-	6

Come già illustrato nell'Appendice 3 Allegato B della Valutazione di Impatto Sanitario trasmessa a febbraio 2024, dalla tabella precedente si può notare come lo Scenario Post Operam preveda un generale aumento delle classi di nave a basso (<10kt) e medio tonnellaggio (10-30kt) e una generale diminuzione delle classi a più alto tonnellaggio (40-90 kt), queste ultime caratterizzate da più alte emissioni specifiche rispetto ai navigli di più piccolo calibro, dovute all'utilizzo di motori di potenza più elevata e tempi di manovra e durata di attracco superiori.

- STEP 5: Identificazione dei fattori di emissione

Nella tabella seguente si riporta la Tabella 3-15 della metodologia EMEP/EEA 2023, in cui sono definiti i fattori di emissione di ogni inquinante e il consumo di combustibile, in g/kWh, per il funzionamento dei motori principali e ausiliari. Nel caso specifico sono state selezionati le fasi di funzionamento dei motori associate alle emissioni nel porto, ossia manovra e attracco ("*Manoeuvring Hotelling*") per motori diesel che utilizzano *Marine Diesel Oil (MDO)* o *Marine Gas Oil (MGO)*. Ai motori principali sono stati associati i fattori di emissioni derivanti da basse velocità ("*slow speed diesel - MDO/MGO*"), mentre ai motori ausiliari quelli derivanti da medie velocità ("*medium speed diesel - MDO/MGO*"),.

Table 3-15 Tier 3 emission factors for pollutants and Specific Fuel Consumption for Diesel engine types/fuel combinations and vessel trip phases (cruising, hotelling, manoeuvring) In g/kWh

Engine	Phase	Engine type	Fuel type	CO (g/kWh)	NOx Tier 0 (g/kWh)	NMVOG (g/kWh)	TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5} (g/kWh)	BC (g/kWh)	SFOG (gfuel/kWh)
Main	Cruise	High-speed diesel	BFO	0,693	8,53	0,440	1,13	0,0114	214
			MDO/MGO	0,693	8,53	0,440	0,188	0,00584	205
			LNG	1,44	0,732	0,127	1,80E-04	3,60E-06	178
		Medium-speed diesel	BFO	0,614	10,8	0,269	1,01	0,0114	185
			MDO/MGO	0,614	10,8	0,269	0,180	0,00584	177
			LNG	1,44	0,732	0,127	1,80E-04	3,60E-06	154
		Slow-speed diesel	BFO	0,451	17,7	0,238	1,02	0,0114	187
			MDO/MGO	0,451	17,7	0,238	0,180	0,00584	178
			LNG	1,44	0,732	0,127	1,80E-04	3,60E-06	156
	Manoeuvring Hotelling	High-speed diesel	BFO	2,70	11,7	1,233	1,34	0,0646	318
			MDO/MGO	2,70	11,7	1,233	0,367	0,0330	304
			LNG	6,15	1,25	1,242	5,41E-04	1,08E-05	265
		Medium-speed diesel	BFO	2,39	14,8	0,753	1,23	0,0646	275
			MDO/MGO	2,39	14,8	0,753	0,361	0,0330	263
			LNG	6,15	1,25	1,242	5,41E-04	1,08E-05	229
Slow-speed diesel		BFO	1,75	24,3	0,666	1,24	0,0646	277	
		MDO/MGO	1,75	24,3	0,666	0,361	0,0330	265	
		LNG	6,15	1,25	1,242	5,41E-04	1,08E-05	231	
Auxiliary	Cruise	High-speed diesel	BFO	1,81	9,94	0,997	1,16	0,0389	283
			MDO/MGO	1,81	9,94	0,997	0,290	0,0199	271
			LNG	4,88	0,928	0,887	2,70E-04	5,41E-06	236
		Medium-speed diesel	BFO	1,61	12,6	0,609	1,06	0,0389	245
			MDO/MGO	1,61	12,6	0,609	0,284	0,0199	234
			LNG	4,88	0,928	0,887	2,70E-04	5,41E-06	204
	Manoeuvring Hotelling	High-speed diesel	BFO	1,10	8,53	0,649	1,03	0,0206	235
			MDO/MGO	1,10	8,53	0,649	0,221	0,0105	224
			LNG	2,92	0,566	0,380	1,80E-04	3,60E-06	196
		Medium-speed diesel	BFO	0,974	10,8	0,397	0,93	0,0206	203
			MDO/MGO	0,974	10,8	0,397	0,215	0,0105	194
			LNG	2,92	0,566	0,380	1,80E-04	3,60E-06	169

Source: Scipper (2021)

Notes:

- Emission factors for LNG were derived from an LNG Lean Burn dual fuel engine technology
- The emissions of NMVOG were derived as being 98 % of the original HC value (based on reported CH₄ factors from IPCC (1997)) for Bunker fuel Oil and MDO/MGO, while for LNG fuel NMVOG as being 15%.
- For further information regarding default fuels used and their properties see Appendix B.

La tabella 3.6 della metodologia EMEP/EEA 2023 definisce dei coefficienti di riduzione dei fattori di emissione di NOx sulla base dell'anno di costruzione delle navi; per il caso in esame è stata selezionata la tecnologia TIER II

For NOx emissions of diesel engines, the following Tables provide EFs for engines constructed before 2000 (Tier 0). In order to estimate NOx EFs for newer engines that were built after 2000, an emission reduction factor should be applied to the above mentioned EFs. This reduction factor depends on the technology regulation of the engine (Tier I, II, III) and is provided in Table 3-6.

Table 3-6 NOx Tier reduction (%) from NOx Tier 0

Engine type	NOx Tier I	NOx Tier II	NOx Tier III
High-speed diesel	13.1	30.2	85.3
Medium-speed diesel	2.36	23.2	90.6
Slow-speed diesel	18.3	36.1	88.7

Source: Scipper (2021)

Nella tabella seguente si riportano i fattori di emissione utilizzati; rispetto all' Appendice 3 Allegato B della Valutazione di Impatto Sanitario trasmessa a febbraio 2024 vengono integrati anche i fattori di emissione per CO, NMVOC e BC.

Inquinante	Fattore di Emissione – consumo carburante (g/kWh)	
	Motori principali <i>(fonte: Table 3-15 Manouvring/Hotelling - Main Engines - Slow speed diesel - MDO/MGO)</i>	Motori ausiliari <i>(fonte: Table 3-15 Manouvring/Hotelling - AUX Engines - Medium speed diesel - MDO/MGO)</i>
CO	1,75	0,974
NO _x	15,5 ¹	8,3 ²
NMVOC	0,666	0,397
Polveri totali (TSP, PM10, PM2.5)	0,361	0,215
BC	0,033	0,0105
Consumo Specifico di Carburante	265	194

¹fattore di emissione ridotto del 36,1% come da metodologia per "slow speed diesel – Tier II" (Tab. 3.6)

²fattore di emissione ridotto del 23,2% come da metodologia per "medium speed diesel – Tier II" (Tab. 3.6)

Per quanto riguarda il fattore di emissione di SO₂, invece, non essendo disponibile tra i valori riportati nella tabella 3.7, lo stesso è stato desunto dalla tabella 3.2, sempre secondo quanto suggerito dalla metodologia EMEP/EEA 2023. Questo fattore di emissione non è espresso in funzione dell'energia dei motori ma direttamente in funzione del consumo di carburante, ed è pari a 1.82 kg/ton carburante.

- STEP 6: Calcolo delle emissioni

Moltiplicando i fattori di emissione identificati nello STEP 5 all'energia relativa al funzionamento dei motori principali e ausiliari, calcolata nello STEP 4, è stato possibile calcolare le emissioni e il consumo di carburante associati alle navi presenti nel Porto di Livorno per le operazioni di Raffineria, nei due scenari Ante Operam e Post Operam, secondo le seguenti formule:



$Emissione (t/anno) = [Fattore\ di\ emissione\ motori\ principali\ (g/kWh) * Energia\ motori\ principali\ (kWh/anno) + Fattore\ di\ emissione\ motori\ ausiliari\ (g/kWh) * Energia\ motori\ ausiliari\ (kWh/anno)] / 1000000 (t/g)$

$Consumo\ di\ carburante\ (t/anno) = [Consumo\ Specifico\ di\ Carburante\ motori\ principali\ (g/kWh) * Energia\ motori\ principali\ (kWh/anno) + Consumo\ Specifico\ di\ Carburante\ motori\ ausiliari\ (g/kWh) * Energia\ motori\ ausiliari\ (kWh/anno)] / 1000000 (t/g)$

Per quanto riguarda SO₂, invece, come descritto al paragrafo precedente, l'emissione è stata calcolata moltiplicando il fattore di emissione per il consumo di carburante, secondo la seguente formula:

$Emissione\ SO_2 (t/anno) = [Fattore\ di\ emissione\ SO_2 (kg/t\ comb) * Consumo\ di\ carburante (t\ comb/anno)] / 1000 (t/kg)$

Nella tabella seguente si riportano i risultati ottenuti.

Capacità della nave (k ton)	3	5	8	10	15	20	25	30	40	75	90
ANTE OPERAM											
Emissioni CO (t/anno)	2,9	0,4	3,9	19,5	-	-	10,0	-	24,7	82,2	-
Emissioni NO _x (t/anno)	25,1	3,9	34,1	171,1	-	-	88,0	-	216,0	720,0	-
Emissioni NMVOC (t/anno)	1,12	0,18	1,52	7,61	-	-	3,91	-	9,61	32,03	-
Emissioni Polveri totali (TSP, PM10, PM2.5) (t/anno)	0,6	0,1	0,8	4,1	-	-	2,1	-	5,2	17,4	-
Emissioni BC (t/anno)	0,05	0,01	0,06	0,32	-	-	0,16	-	0,40	1,33	-
Consumo di Carburante (t/anno)	480	75	651	3268	-	-	1681	-	4123	13753	-
Emissioni SO ₂ (t/anno)	0,87	0,14	1,19	5,95	-	-	3,1	-	7,5	25,0	-
POST OPERAM											
Emissioni CO (t/anno)	3,3	2,5	0,8	17,5	7,0	12,5	-	46,4	-	-	52,0
Emissioni NO _x (t/anno)	28,6	21,6	7,1	153,2	61,7	109,8	-	405,9	-	-	455,3
Emissioni NMVOC (t/anno)	1,27	0,96	0,32	6,82	2,75	4,89	-	18,06	-	-	20,25
Emissioni Polveri totali (TSP, PM10, PM2.5) (t/anno)	0,7	0,5	0,2	3,7	1,5	2,6	-	9,8	-	-	11,0
Emissioni BC (t/anno)	0,05	0,04	0,01	0,28	0,11	0,20	-	0,75	-	-	0,84
Consumo di Carburante (t/anno)	545	412	136	2927	1179	2098	-	7751	-	-	8694
Emissioni SO ₂ (t/anno)	0,99	0,75	0,25	5,33	2,1	3,8	-	14,1	-	-	15,8

Sommando le emissioni di ogni inquinante per classe di tonnellaggio delle navi è possibile fare un confronto tra le emissioni prodotte e il carburante consumato nello scenario Ante Operam e nello scenario Post Operam, come mostrato nella tabella seguente.



Inquinante	Emissioni ANTE OPERAM (t/anno)	Emissioni POST OPERAM (t/anno)	Differenza percentuale
CO	143,72	142,00	-1%
NO _x	1258,24	1243,24	-1%
NM VOC	55,98	55,31	-1%
Polveri totali (TPS, PM10, PM2.5)	30,33	29,97	-1%
BC	2,33	2,30	-1%
Consumo Carburante	24030	23743	-1%
SO ₂	43,74	43,21	-1%

Come già illustrato nell'Appendice 3 Allegato B della Valutazione di Impatto Sanitario trasmessa a febbraio 2024, anche considerando le emissioni di CO, NMVOC e BC le emissioni si mantengono comunque in leggera diminuzione nello scenario post operam rispetto a quello ante operam. Questo perché nell'assetto post operam le maggiori emissioni dovute all'aumento dei navigli a basso e medio tonnellaggio vengano pressoché controbilanciate dalla riduzione del numero di navi a più alto tonnellaggio.