

Strategie per ridurre nel breve e nel medio termine le emissioni delle navi in porto



Ing. Dario Lagostena

Genova – 10 gennaio 2019

Inquinamento e malattie correlate. Obiettivo per Genova? Invertire la rotta!

Fenomeno globale



Impatto locale



Inventario nazionale delle emissioni

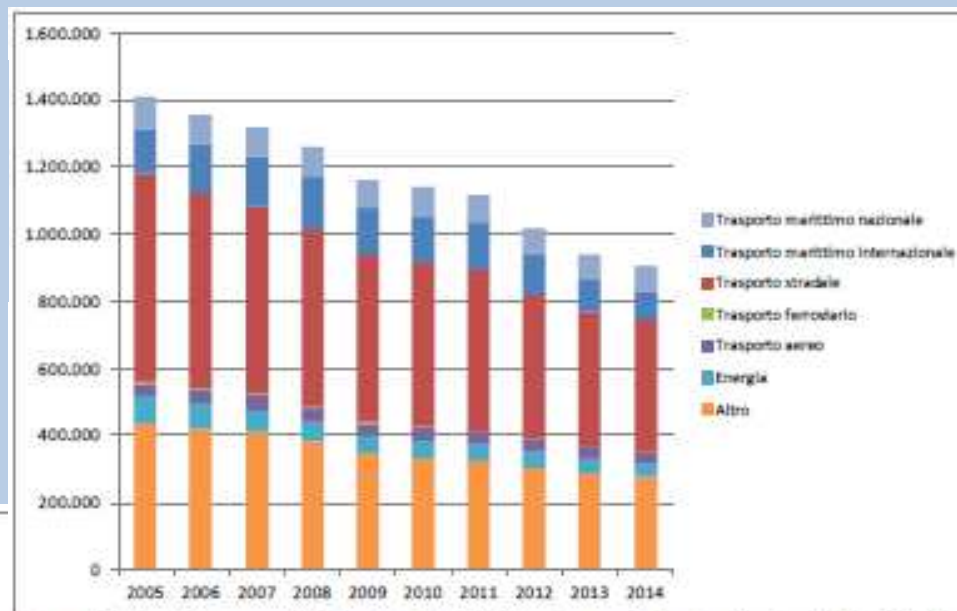


Figura 4.17 - Andamento delle emissioni di NO_x (in tonnellate) nel periodo 2005-2014; fonte: elaborazioni ISPRA (2016)

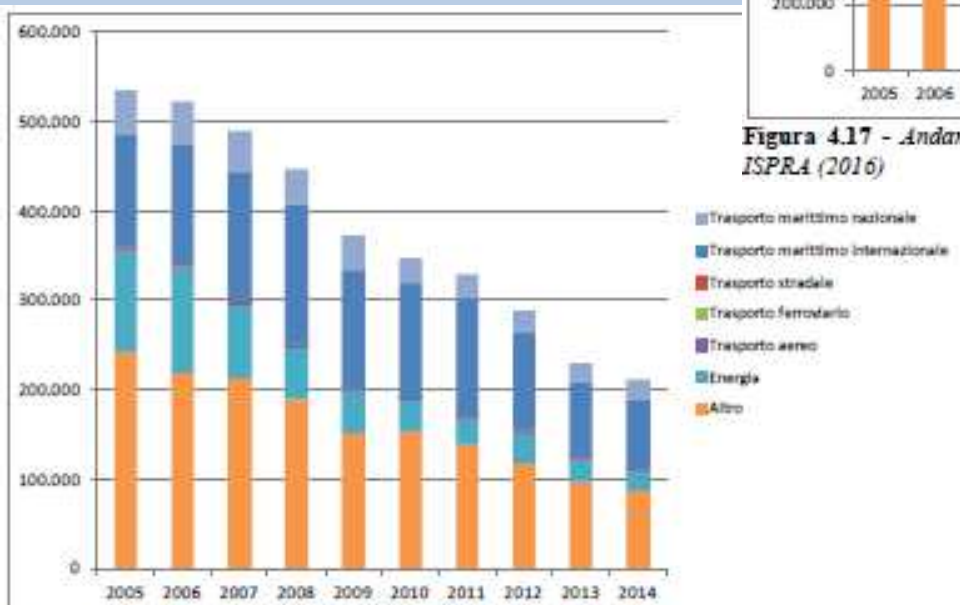


Figura 4.13 - Andamento delle emissioni di SO_x (in tonnellate) nel periodo 2005-2014; fonte: elaborazioni ISPRA (2016)

Livello locale?

Dati 2017

Zona	Nome Stazione	Valore medio annuale	Val. Massimo Orario	Superi orari a 200
IT0711	Quarto SE. DI. - Genova (GE)	24	140	0
	C.so Firenze - Genova (GE)	31	149	0
	Parco Acquisola - Genova (GE)	19	148	0
	Multedo - Via Ronchi - Genova (GE)	57	179	0
	Corso Europa - Genova (GE)	49	197	0
	Via Pastorino - Genova (GE)	45	164	0
	Corso Buenos Aires - Genova (GE) (*)	42	150	0
	Via Buozi - Genova (GE)	51	161	0
IT0712	Località Farina - Cairo Montenotte (SV)	22	326	1
	Località Mazzucca - Cairo Montenotte (SV)	21	83	0
	Località Bragno - Cairo Montenotte (SV)	12	61	0
	Via Nazionale - Carcare (SV)	35	118	0
	Mercato Generale - Quiliano (SV)	18	77	0
	Corso Ricci - Savona (SV)	32	118	0
	Varaldo - Savona (SV)	16	119	0
	Via Aurelia - Vado Ligure (SV)	28	128	0
IT0713	Scuola Elementare - Bolano (SP)	6	50	0
	San Venerio - La Spezia (SP)	12	115	0
	Chiodo Amendola - La Spezia (SP)	32	122	0
	San Cipriano Libertà - La Spezia (SP)	44	185	0
	Maggiolina - La Spezia (SP)	26	122	0
	Fossamastra - La Spezia (SP)	26	91	0
	Chiappa - La Spezia (SP)	11	89	0
	Piazza Saint Bon - La Spezia (SP)	33	158	0
	Le Grazie - Portovenere (SP)	16	114	0
	Raccordo autostrada - S. Stefano Magra (SP)	24	89	0
	Largo Pertini - Sarzana (SP)	28	129	0



2016 e 2017:
 Superamento del limite della
 media annuale di NO₂ in
 alcuni punti delle aree di GE e
 SP
Misurato

Sorgenti di NO_x a GE:

- Attività marittime (62%)
- Trasporto su strada (26%)
- Industria (6%)
- Riscaldamento (5%)

Stimato da inventario 2011

Monitoraggio della qualità dell'aria Terminal Crociere di Savona



Figura 1 - Zona del terminal crociere del porto di Savona

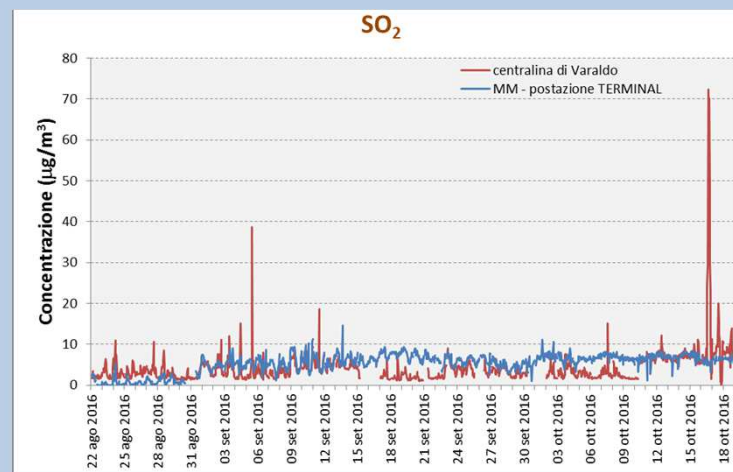


Figura 2 - Concentrazioni orarie di SO₂ nella postazione Terminal e nella cabina di Varaldo

Il traffico navale incide sulla qualità dell'aria delle zone portuali, ma con episodi di breve durata (~ 1 ora), senza superamenti dei valori limite



Figura 18 - Curve di iso-concentrazione a livello del suolo nei tre scenari

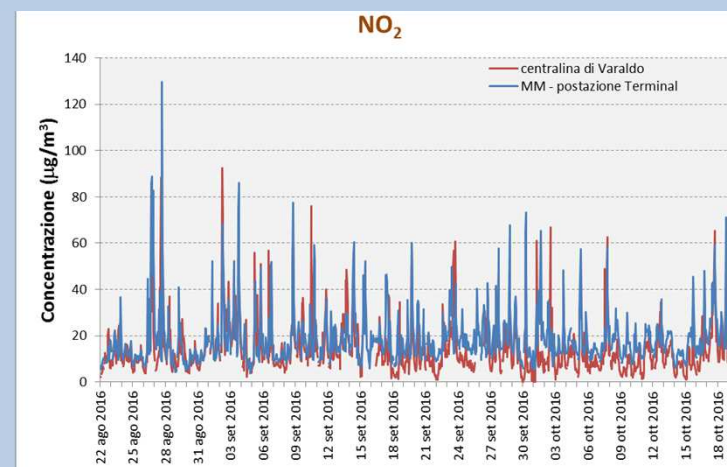
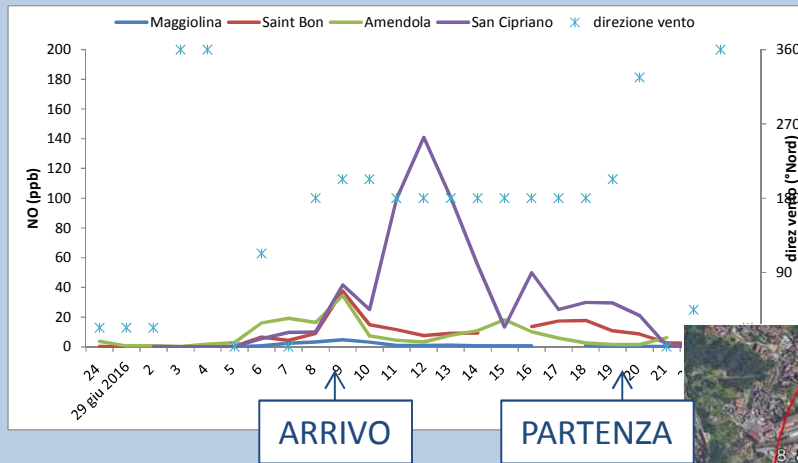
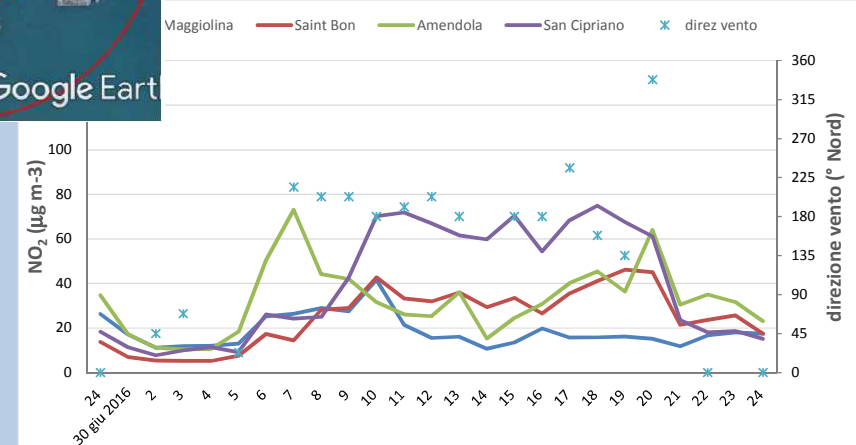
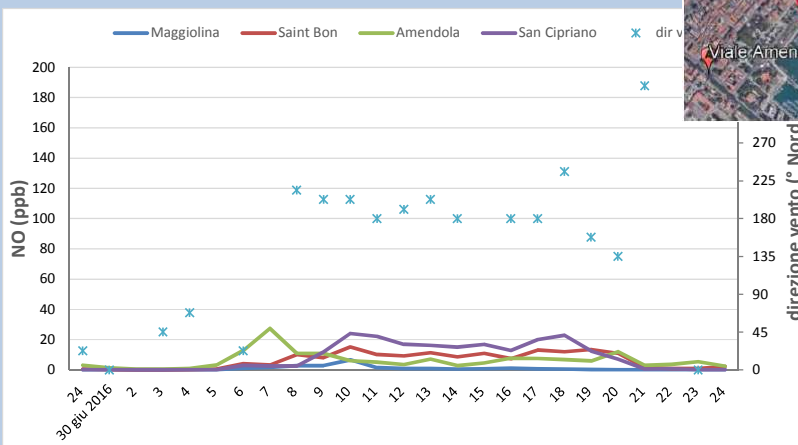
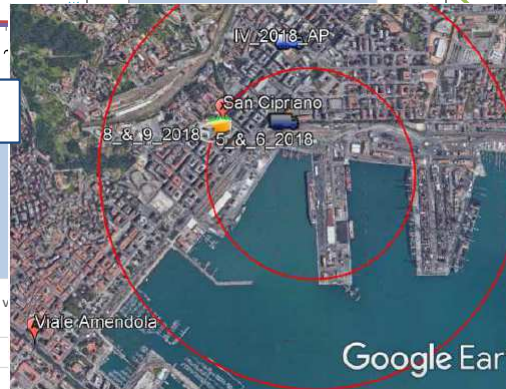
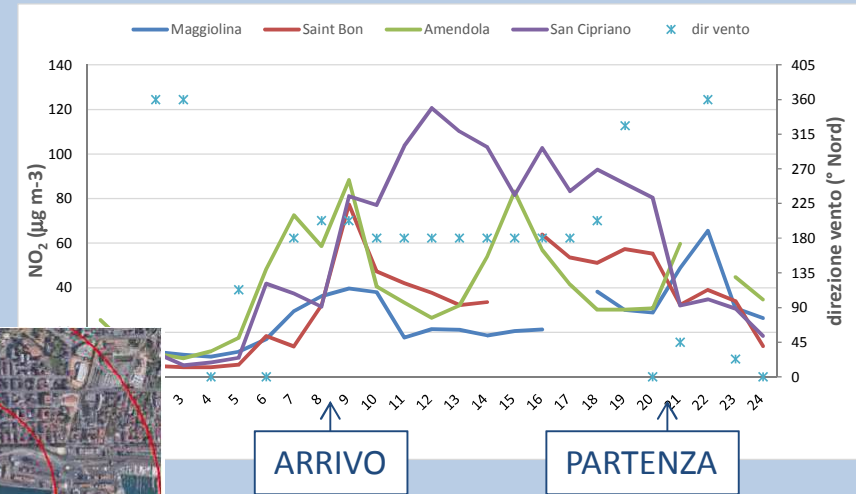


Figura 4 - Concentrazioni orarie di NO₂ nella postazione Terminal e nella cabina di Varaldo

NO in presenza di navi



NO₂ in presenza di navi



NO in assenza di navi

NO₂ in assenza di navi

Normative internazionali per un fenomeno globale

Marpol 73/78

- Annex I Prodotti petroliferi
- Annex 2 Rinfuse liquide nocive
- Annex 3 Sost. pericolose in contenitori
- Annex 4 Acque di scarico
- Annex 5 Rifiuti
- Annex 6 Inquinamento dell'aria

SO_x, NO_x
ODS, COVNM, incenerimento

Emission Control Areas (ECA)

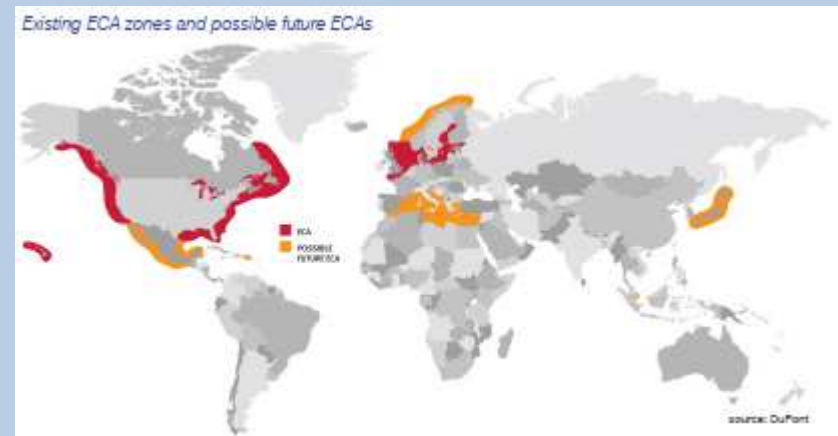


Tabella 4.1 - Valori del tenore massimo di zolfo ammesso nei combustibili marini su scala globale e nelle ECA

Anno	Tenore di zolfo del combustibile (%)	
	Globale	ECA
2000	4,5	1,5
2010		1,0
2012	3,5	0,1
2015		
2020	0,5	

Nel 2018 si valuterà se posticipare la scadenza del 2020 al 2025

Fonte: IMO

Tabella 4.2 - Valori dei limiti Tier I, II e III alle emissioni di NO_x

	Data di installazione dei motori diesel	Velocità n del motore (rpm)	Limite emissivo di NO _x (g/kWh)
Tier I	dal 1/1/2000 al 1/1/2011	n < 130	17
		130 ≤ n < 2.000	45 · n ^{-0,2}
		n ≥ 2.000	9,8
Tier II	dopo il 1/1/2011	n < 130	14,4
		130 ≤ n < 2.000	44 · n ^{-0,23}
		n ≥ 2.000	7,7
Tier III	dopo il 1/1/2016 (solo aree ECA)	n < 130	3,4
		130 ≤ n < 2.000	9 · n ^{-0,2}
		n ≥ 2.000	2

Fonte: IMO

IAPP, EIAPP
Rilascio e rinnovo periodico

Scheda tecnica del motore, procedure di controllo, gestione della manutenzione

Direttiva 2012/33/UE
D.Lgs. 112/14
Zolfo nel combustibile
≤ 3,5 % fino al 31/12/19
≤ 0,5 % dal 01/01/2020
≤ 1,5% navi passeggeri
≤ 0,1 % all'ormeggio



Tabella 4.1 - Valori del tenore massimo di zolfo ammesso nei combustibili marini su scala globale e nelle ECA

Anno	Tenore di zolfo del combustibile (%)	
	Globale	ECA
2000	4,5	1,5
2010		1,0
2012	3,5	0,1
2015		
2020	0,5	

Nel 2018 si valuterà se posticipare la scadenza del 2020 al 2025

Fonte: IMO

Breve termine:

- *Compliant fuel*
- Combustibili tradizionali con abbattimento delle emissioni

Tabella 4.2 - Valori dei limiti Tier I, II e III alle emissioni di NO_x

	Data di installazione dei motori diesel	Velocità n del motore (rpm)	Limite emissivo di NO _x (g/kWh)
Tier I	dal 1/1/2000 al 1/1/2011	n < 130	17
		130 ≤ n < 2.000	45 · n ^{-0,2}
		n ≥ 2.000	9,8
Tier II	dopo il 1/1/2011	n < 130	14,4
		130 ≤ n < 2.000	44 · n ^{-0,23}
		n ≥ 2.000	7,7
Tier III	dopo il 1/1/2016 (solo aree ECA)	n < 130	3,4
		130 ≤ n < 2.000	9 · n ^{-0,2}
		n ≥ 2.000	2

Fonte: IMO

Medio-lungo termine:

- Combustibili alternativi: il GNL

Retrofitting delle navi esistenti

Costruzione di nuove navi

Marine Gas Oil (MGO) con tenore di zolfo < 0,1%

- Bassi costi di investimento per gli armatori
- Incremento dei costi di gestione → si stima un possibile aumento del costo del trasporto marittimo del 40-50%
- Difficoltà di adeguamento dell'industria della raffinazione
- Scarsa probabilità di nuovi investimenti in processi per trasformare a basso costo l'Heavy Fuel Oil (HFO) in distillati a basso tenore di zolfo
- Brusca variazione della domanda/offerta → possibili carenze di offerta e rialzo dei prezzi

Combustibili tradizionali e abbattimento degli inquinanti

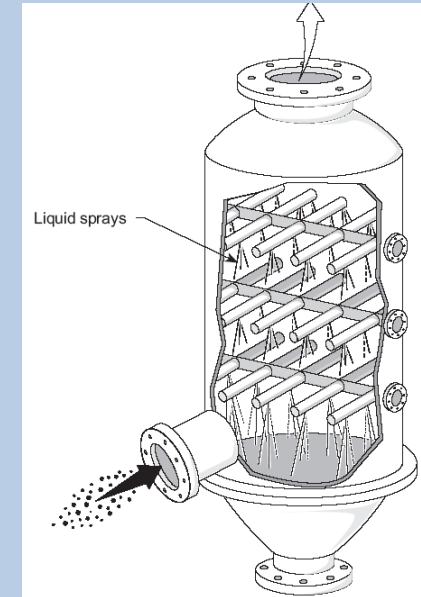
HFO con desolforazione fumi (scrubber)



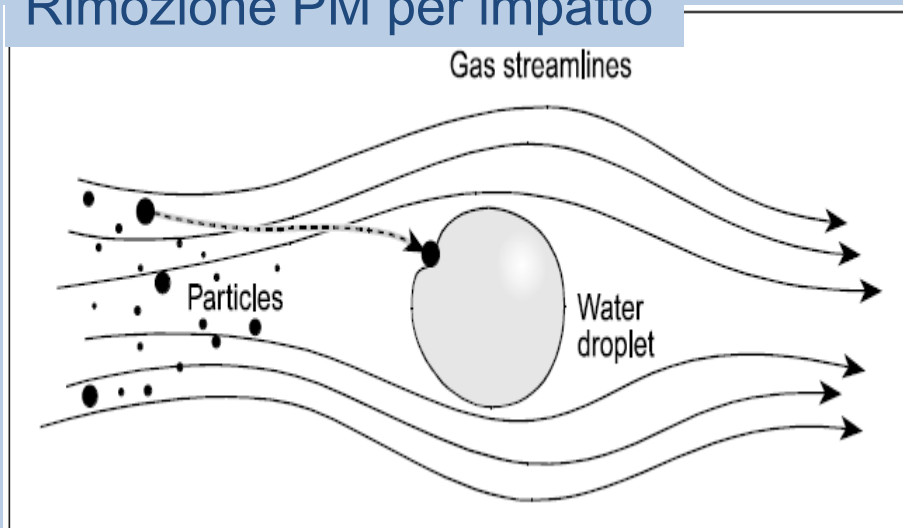
Rimozione 99% SO_x e 70-90% PM



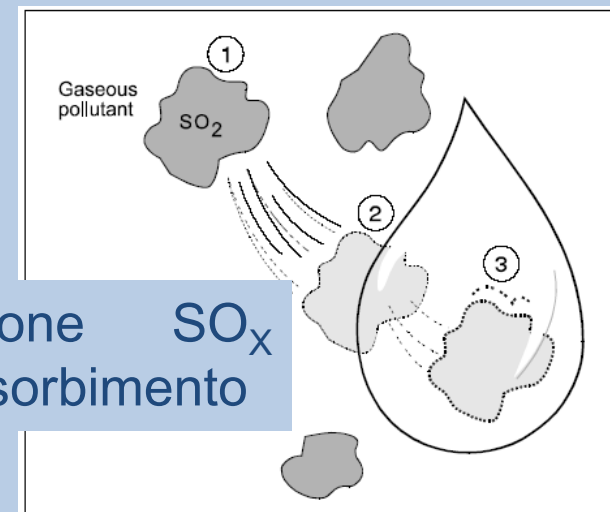
Equivalente all'uso di MGO a basso tenore di zolfo



Rimozione PM per impatto



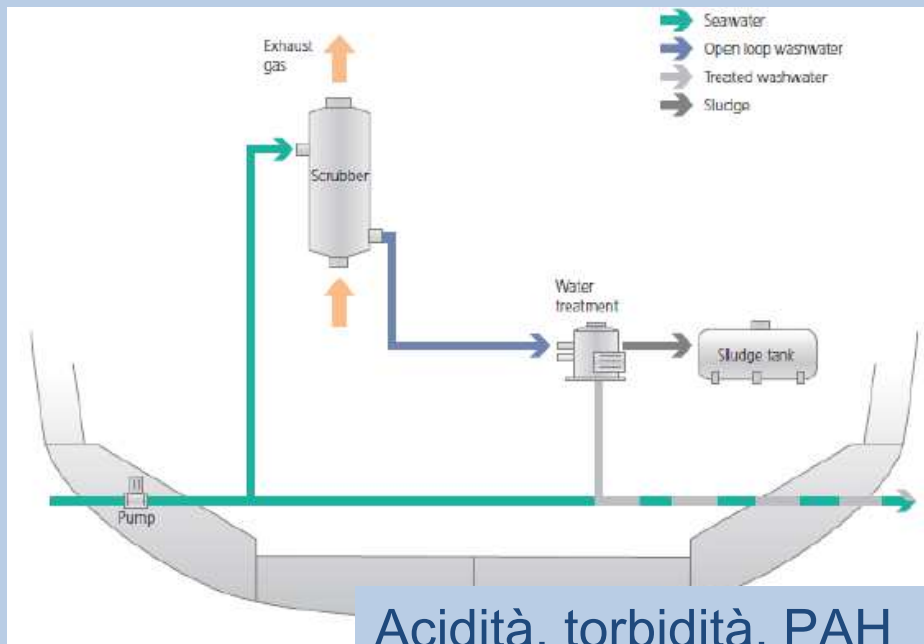
Rimozione SO_x per adsorbimento



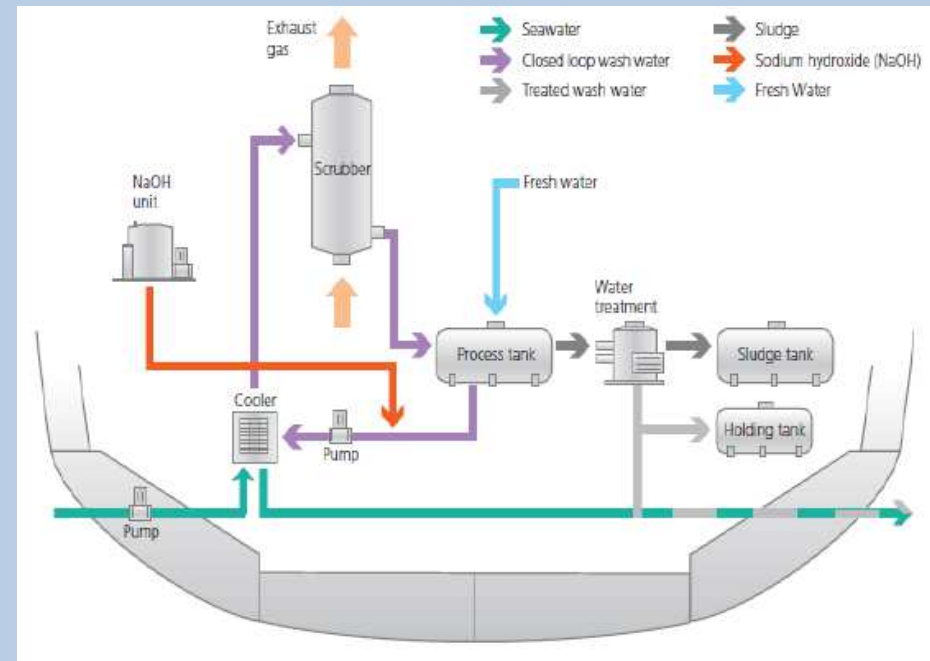
Scrubber a umido

- Ciclo aperto (acqua di mare)
- Ciclo chiuso (acqua dolce+ NaOH/ MgO/ NaHCO₃)
- Ibrido (maggiore flessibilità)

Ciclo aperto



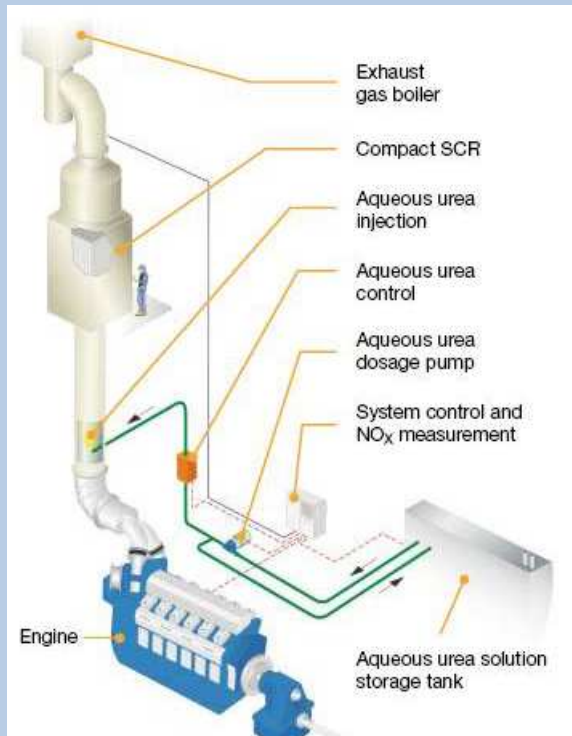
Ciclo chiuso



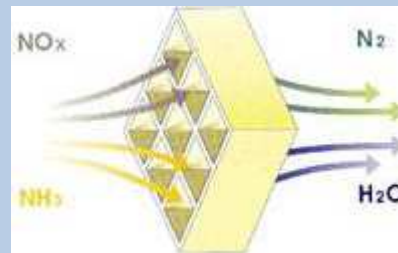
Scrubber a secco → Ca(OH)₂ Maggiore compatibilità con rimozione NO_x

Costi? Variazione di stabilità della nave?

Selective catalytic reduction (SCR)



Immissione nei fumi di una soluzione di urea al 40%



Efficienza di rimozione 80-90%

Catalizzatore è danneggiato dai sali di solfato →
Combustibili a basso tenore di zolfo (o rimozione
SO_x con scrubber) e temperatura elevata dei fumi

Temperatura di reazione 350-450°C

Se preceduta da scrubber a umido, necessita di
un sistema di riscaldamento intermedio →
aumento significativo dei consumi energetici e
delle emissioni di CO₂

Nessuna interferenza
sulla temperatura di
processo se preceduta
da scrubber a secco

Costi? Variazione di stabilità della nave?

Combustibili marittimi alternativi: il GNL

Vantaggi/svantaggi ambientali:

- SO_x : - 99%
- NO_x : - 90% rispetto all'olio combustibile pesante (HFO) e - 80% rispetto ai distillati marini (MGO)
- PM: - 90% rispetto al HFO e - 50% rispetto al MGO
- CO_2 : - 26% rispetto al HFO e -24% rispetto al MGO
- CH_4 : probabile forte incremento delle emissioni, per perdite di gas in approvvigionamento e in navigazione
- La diffusione del GNL nel Mediterraneo potrebbe ridurre dell'80% i costi esterni sanitari e ambientali del trasporto marittimo (ECBA Project, 2014)

Aspetti da valutare per l'uso di GNL come combustibile marittimo

- Sostituzione della flotta con navi alimentate con GNL o retrofitting delle navi esistenti? → Diversi margini di ritorno sull'investimento
- Effetto sull'ambiente variabile a seconda della motorizzazione
- Sicurezza delle navi alimentate a GNL: International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels, 2016
- Sistemi di stoccaggio e alimentazione a bordo più voluminosi → Perdita di capacità di carico e variazione della stabilità della nave
- Infrastrutture di bunkeraggio e approvvigionamento in via di sviluppo
- + 10% costi di manutenzione del motore (rispetto all'HFO)
- - 60% costi del MWh (rispetto all'HFO)
- Tempi medi di cantiere per retrofitting? Almeno 2-3 mesi
- Tempi medi di ritorno dell'investimento? Stima di 36 – 60 mesi

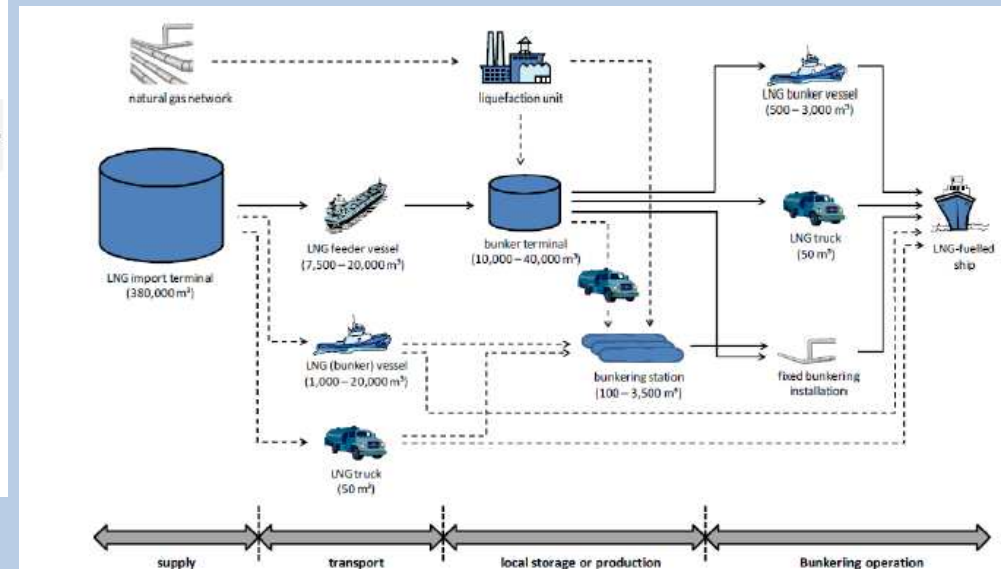
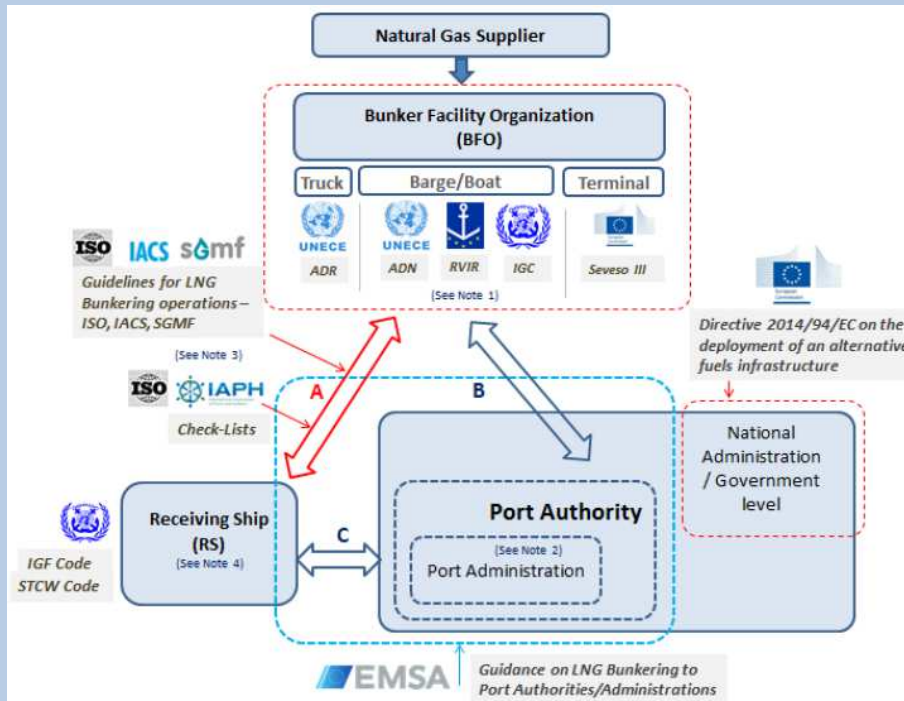


Figure 2.16 – Schematic representation of the different supply routes for the delivery of LNG as a ship fuel

Shore Pipeline To Ship → adatto per navi metaniere di grandi dimensioni
 Ship To Ship → anche al di fuori dei porti, servono condizioni di mare calmo
 Da ISO container criogenici → flessibile, possono viaggiare su treni/navi
 Truck To Ship → flessibile, per navi di piccole dimensioni

Fornitura di GNL come combustibile marittimo in Italia

Ad oggi nessun terminale di rigassificazione italiano è in grado di fornire servizi di tipo SSLNG, non essendo tecnicamente e logisticamente attrezzato per eseguire rifornimenti destinati al trasporto marittimo

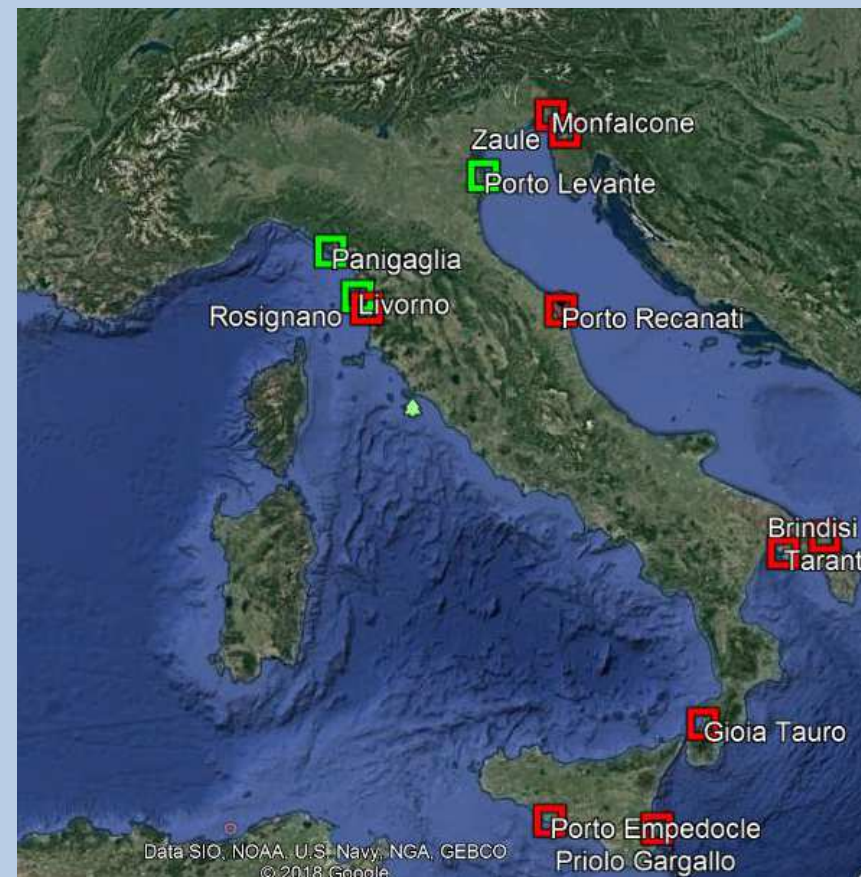
GE: Truck To Ship

Necessità di una politica integrata di lungo termine:

- ambientale
- energetica
- industriale

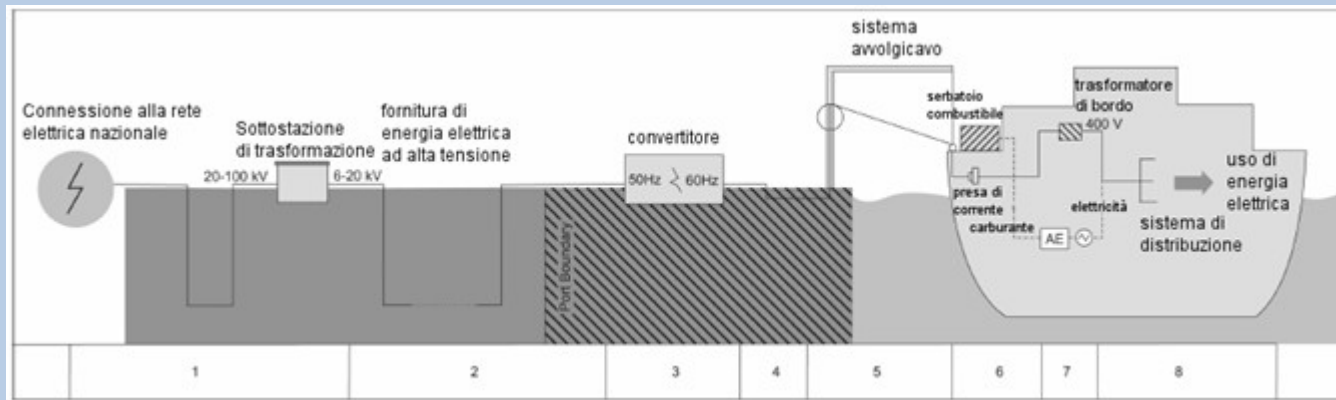
Opportunità di sviluppo economico ed industriale

Notevoli benefici su ambiente e salute



Istituzione di aree ECA nel Mediterraneo?

Alimentazione delle navi in porto con energia elettrica dalle banchine



- Notevole riduzione dell'inquinamento atmosferico ed acustico nei porti
- Ripartizione dei costi tra nave e porto

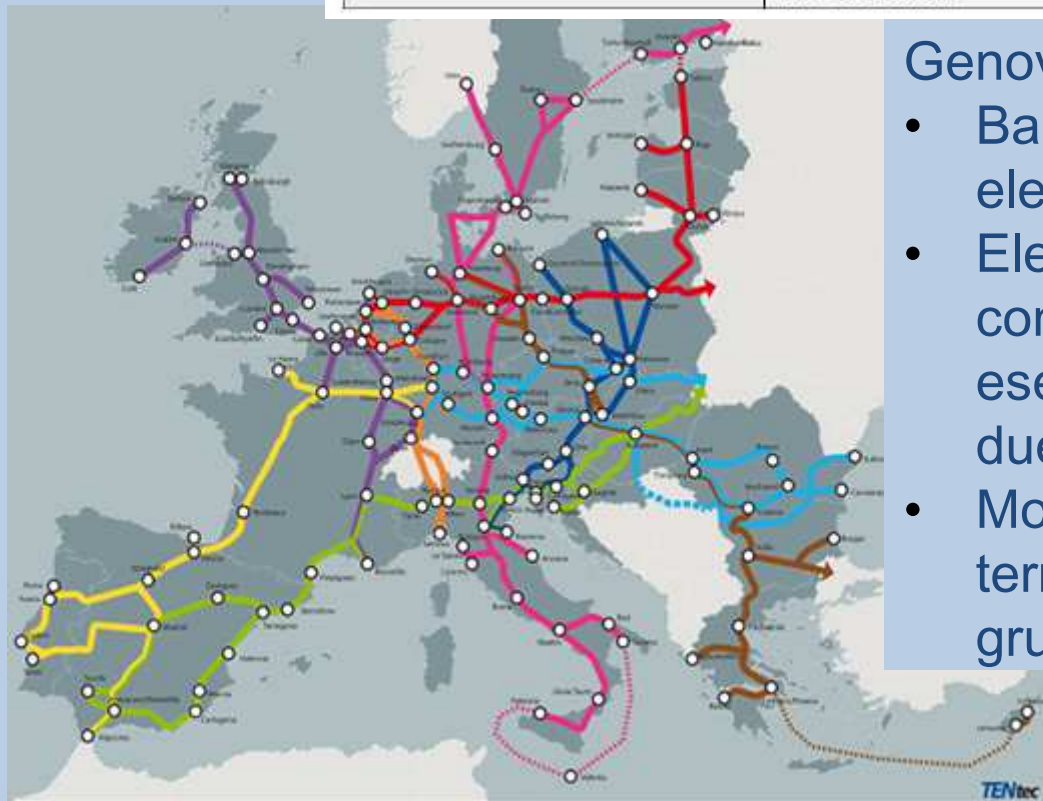
Problemi:

- Elevato costo del kWh rispetto all'autoproduzione con i generatori di bordo (anche per questioni di imposizione fiscale)
- Potenze assorbite molto elevate per alcune tipologie di nave (una nave da crociera assorbe circa 12 MW medi e 16 MW di picco)

Direttiva 2014/94/UE

Table 4.2 – Directive 2014/94 – applicable deadlines.

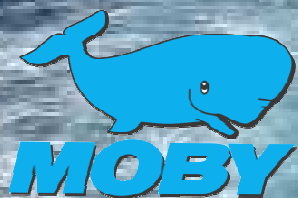
	Coverage	Timings
Electricity in urban/suburban and other densely populated areas	Appropriate number of publically accessible points	by end 2020
CNG in urban/suburban and other densely populated areas	Appropriate number of points	by end 2020
CNG along the TEN-T core network	Appropriate number of points	by end 2025
Electricity at shore-side	Ports of the TEN-T core network and other ports	by end 2025
Hydrogen in the Member States who choose to develop it	Appropriate number of points	by end 2025
LNG at maritime ports	Ports of the TEN-T core network	by end 2025
LNG at inland ports	Ports of the TEN-T core network	by end 2030
LNG for heavy-duty vehicles	Appropriate number of points along the TEN-T core network	by end 2025



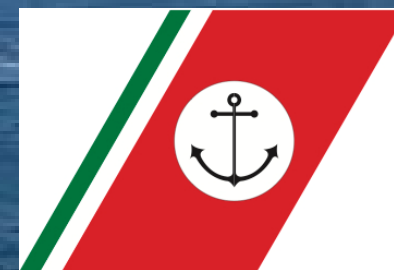
Genova:

- Banchine delle riparazioni navali elettrificate
- Elettrificazione banchine del terminal contenitori di Prà → Progettazione esecutiva consegnata a Nov 2018, due anni per esecuzione lavori
- Movimentazione contenitori nel terminal di Prà → elettrificazione delle gru gommate in fase di ultimazione

- 2013: la Capitaneria di Porto di Genova chiede ad ARPAL il supporto tecnico per allestire un sistema di monitoraggio delle emissioni navali
- Manovra in porto e in navigazione
- L'attività non è prevista da alcuna normativa → accordo volontario con le principali compagnie di navigazione del porto di Genova
- ARPAL ha fornito personale, strumentazione ed esperienza



Monitoraggio delle
emissioni in atmosfera
di motori diesel marini
da navi Ro/Ro





Portata, temperatura, umidità
 O_2 CO CO_2 NO_x SO_2 COT polveri
al fumaio



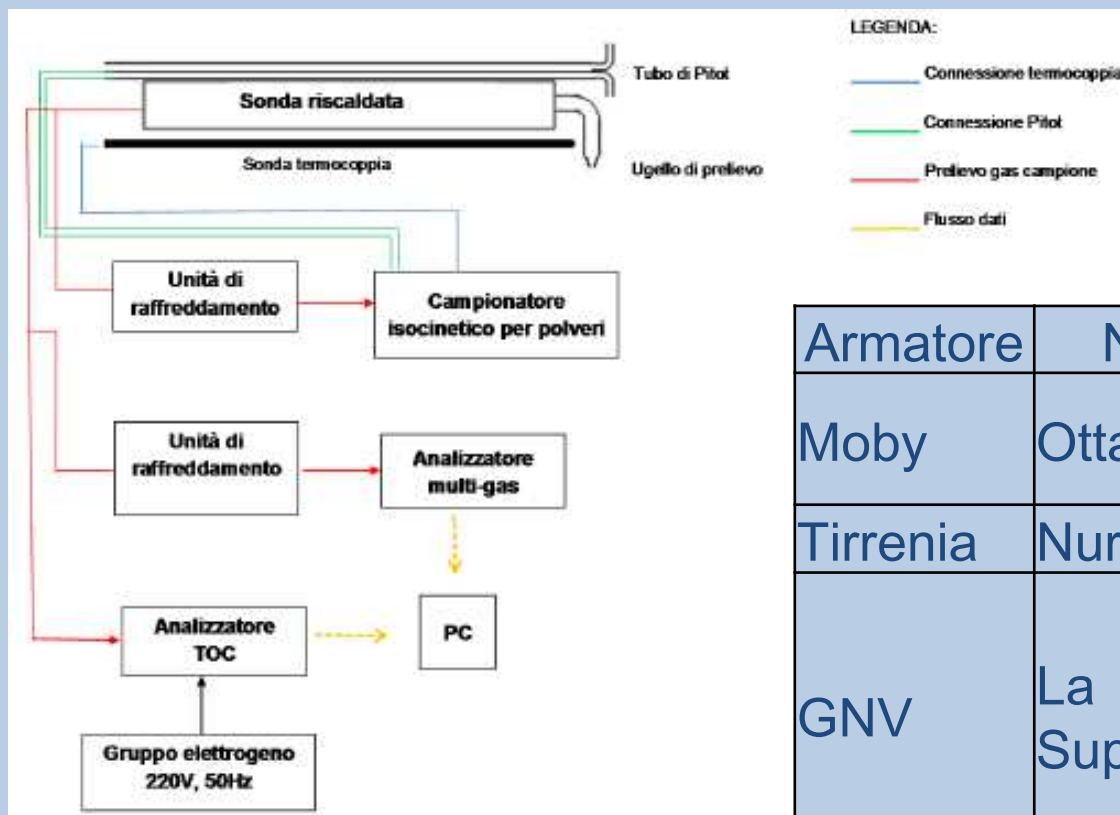
Analisi morfologica
ed elementale al SEM

Analisi metalli con
assorbimento atomico



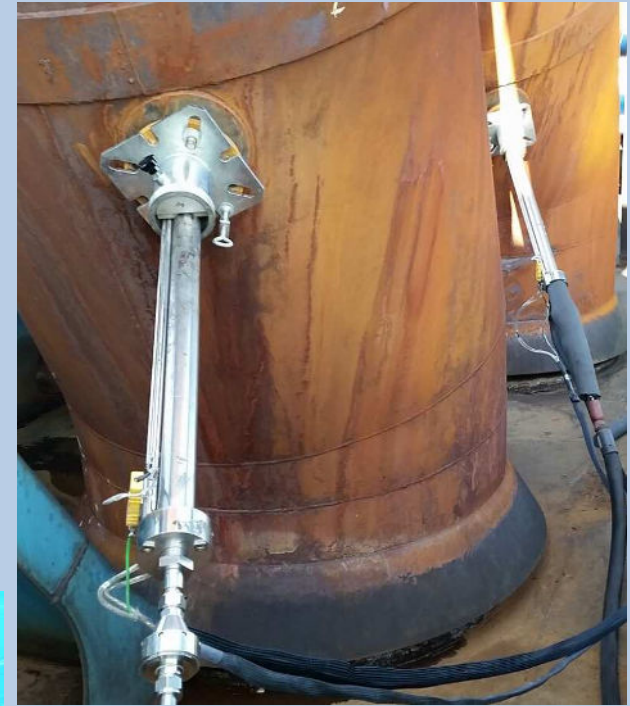
Valutazione rispetto
limite di emissione NO_x

Linea di campionamento e campagne di monitoraggio



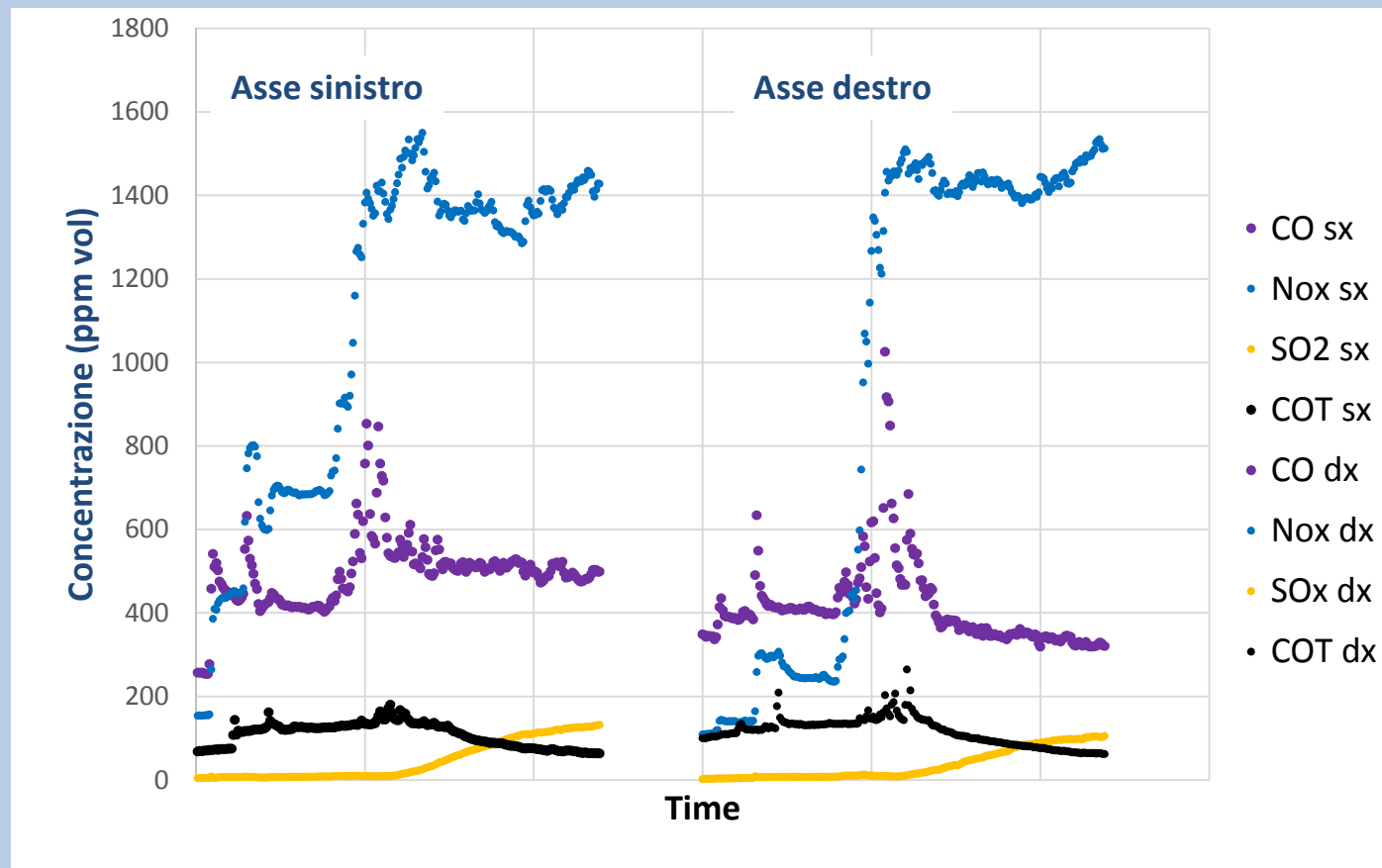
Armatore	Nave	Data	Tratta
Moby	Otta	2014	GE-Olbia
		2017	GE-Olbia
Tirrenia	Nuraghes	2016	GE-Porto Torres
GNV	La Superba	2014	GE-Palermo
		2014	GE-Palermo
		2016	GE-Palermo
		2017	GE-Palermo

- NO_x → Analizzatore a chemiluminescenza
- O₂ → Rilevatore paramagnetico
- SO₂, CO, CO₂ → Sensore ad infrarossi non dispersivo
- TOC → Rilevatore a ionizzazione di fiamma



Misurazione degli inquinanti al fumaiolo

CO, NO_x, SO₂ e TOC

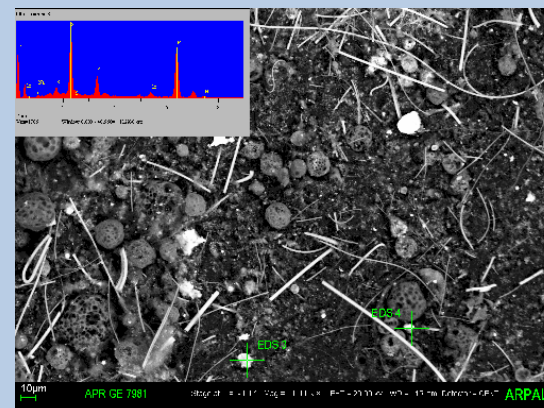
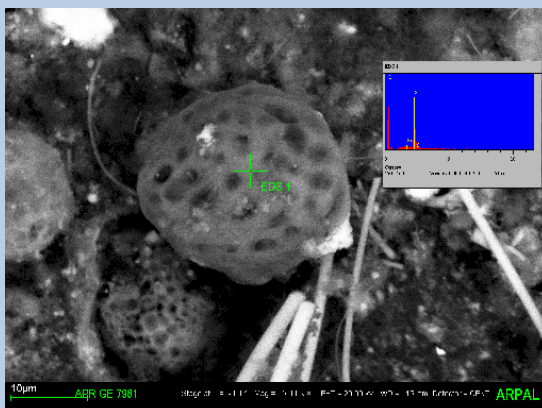
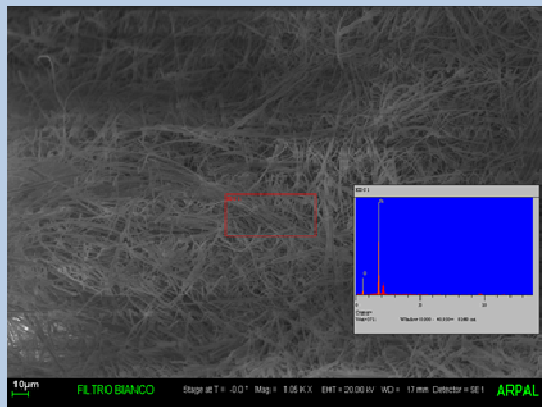


Misurazione delle polveri

Emissione di polveri (per ogni motore)

In porto (10 ÷ 20 min)	In navigazione
1 ÷ 7 kg/h	2,4 kg/h

Analisi elementale e morfologica al SEM



Analisi quantitativa dei metalli nel particolato

Metalli nel particolato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) fumaio asse sinistro						Metalli nel particolato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) fumaio asse destro				
	in+out PA	GE→PA	in GE	out GE		in+out PA	GE→PA	in GE	out GE	
As	2.2	1.1	1.6	1.9		2.3	1.5	2.6	4.1	
Hg	0.000	0.000	0.000	0.005		0.000	0.000	0.000	0.009	
Cd	0.2	0.1	0.0	0.2		0.0	0.0	0.0	0.2	
Cr	38	29	19	39		34	16	10	25	
Fe	407	382	284	500		470	230	162	321	
Ni	467	436	323	535		520	257	171	406	
Cu	36	29	21	38		37	18	13	27	
V	391	317	263	371		380	189	135	279	
Al	208	149	116	191		195	90	62	145	
Pb	5	4	3	6		6	3	3	5	

Valutazione del rispetto del limite NO_x

Test cycle for “Constant-speed main propulsion” application

Test Cycle Type E2	Speed	100%	100%	100%	100%
	Power	100%	75%	50%	25%
	Weighting factor	0,2	0,5	0,15	0,15

Emissione NO_x calcolata con metodo diretto

Par. 6.4 NTC 2008

Motore SX	Andata	14,5 ± 1,5 g/kWh	Test cycle E2 limitato a potenze del 75% e 50% a richiesta della Compagnia
	Ritorno	13,5 ± 1,5 g/kWh	
Motore DX	Andata	8,6 ± 0,9 g/kWh	
	Ritorno	17,5 ± 1,8 g/kWh	

Motore SX A/R (75%+50%)	14,4±1,8	g/kWh	Livello di confidenza 95 %
Motore DX A/R (75%+50%)	15,1±1,8	g/kWh	Livello di confidenza 95 %

Giri nominali del motore compresi tra 130 e 2000 rpm

LIMITE **12,98** g/kWh



Fonti:

Trasporto marittimo e gestione ambientale nelle aree portuali italiane, ISPRA, 2016
Valutazione annuale della qualità dell'aria nel 2016 e 2017, Regione Liguria e ARPAL