



OSSERVATORIO AMBIENTALE DI CIVITAVECCHIA

SEZIONE AMBIENTE

in collaborazione con la



Università di Roma "La Sapienza"

Dipartimento di Meccanica e Aeronautica

RELAZIONE DI RICERCA

Analisi tecnico-economica della elettrificazione del Porto di Civitavecchia

APPENDICE

**Stima delle emissioni atmosferiche provenienti dai motori ausiliari delle grandi
navi ormeggiate all'interno del Porto di Civitavecchia**

Ricerca condotta da:

Ing. Luca Cedola, Ing. Mauro Villarini e Ing. Luca Del Zotto

ha collaborato la

**Sezione "Macchine e Sistemi Energetici"
del Dipartimento di Meccanica e Aeronautica**

Direttore della ricerca: **Prof. Ing. Vincenzo Naso**

Luglio 2006



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA
SEZIONE AMBIENTE

INDICE

PREMESSA.....	4
INTRODUZIONE.....	5
1 Il traffico marittimo e il porto di Civitavecchia	6
1.1 La situazione mondiale	6
1.2 La situazione europea.....	6
1.3 La situazione italiana	7
1.4 L'evoluzione portuale	8
1.5 Inquadramento geografico	9
1.6 Le principali fonti d'inquinamento atmosferico del Comune di Civitavecchia.....	10
1.7 Il porto di Civitavecchia.....	11
1.8 Fonti d'inquinamento all'interno del porto.....	12
1.8.1 Inquinamento elettromagnetico.....	13
1.8.2 Inquinamento acustico	13
1.8.3 Inquinamento marino	13
1.8.4 Inquinamento atmosferico.....	13
1.9 Le sorgenti di inquinamento	13
1.10 I principali fattori di impatto ambientale delle navi.....	14
1.11 Stima dell'inquinamento atmosferico navale.....	16
1.11.1 Classificazione delle navi.....	16
1.11.2 Numero e potenza dei motori installati.....	16
1.11.3 Fattore di carico	17
1.11.4 Ore d'impiego	18
1.11.5 Energia totale utilizzata dai motori.....	18
1.11.6 Combustibili impiegati nei motori navali	19
1.11.7 Consumo di combustibile.....	20
1.11.8 Fattori di emissione dei prodotti derivanti dalla combustione interna dei propulsori navali	20
1.11.9 Stima delle emissioni	21
1.12 Considerazioni sul valore delle immissioni	24
1.13 Sistemi di abbattimento delle emissioni inquinanti	26



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA
SEZIONE AMBIENTE

1.14	Conclusioni	28
	Bibliografia	29



**OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA
SEZIONE AMBIENTE**

PREMESSA

Da anni si sottolinea l'esigenza di ridurre l'impatto ambientale dei sistemi di mobilità e, per quanto riguarda in particolare il nostro Paese, di diminuire l'incidenza percentuale del trasporto su gomma a favore del trasporto marittimo, ferroviario ed aereo.

A questa finalità si sono ispirate ad esempio le "autostrade del mare" e la liberalizzazione del trasporto aereo.

Un input verso tale politica è stata data dalla Commissione Europea con la presentazione nel 2001 del Libro bianco "La politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte" in cui viene definita la politica europea dei trasporti dei prossimi dieci anni, attraverso interventi che atti a promuovere servizi di trasporto diversificati e rispettosi dell'ambiente.

È su questo scenario che si inserisce il rilancio della politica portuale prevista dal Piano Generale dei trasporti e della Logistica (PGT) nell'obiettivo di rafforzare il ruolo strategico dell'Italia nella dinamica dei traffici mondiali.

Il PGT assegna grande importanza alla specializzazione dei porti ed ai collegamenti tra questi e il territorio.

In questo contesto è sempre più impellente la richiesta di infrastrutture portuali specializzate che costituiscano un "elevato valore aggiunto" in grado di innescare intensi processi di crescita economica ed occupazionale e che nel contempo salvaguardino l'ambiente.



**OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA
SEZIONE AMBIENTE**

INTRODUZIONE

Obiettivo dello studio è la valutazione delle emissioni atmosferiche causate dalle navi ormeggiate nel porto di Civitavecchia.

Viene quindi realizzata l'analisi del problema dell'inquinamento in relazione allo scenario di Civitavecchia ed in particolare del porto marittimo. Vengono discussi i fattori principali d'inquinamento e si stimano le emissioni prodotte dagli ausiliari delle imbarcazioni durante il periodo di ormeggio. Infine si confrontano diverse metodologie innovative per l'abbattimento degli agenti inquinanti tra cui la "banchina elettrificata".



1 Il traffico marittimo e il porto di Civitavecchia

1.1 La situazione mondiale

Secondo quanto riportato nel documento "Review of maritime transport 2005", pubblicato [1] dall'UNCTAD (United Nations Conference On Trade And Transport), negli ultimi anni si è assistito ad una continua crescita delle esportazioni a livello mondiale, registrando un aumento del 2,5% e del 3,8% nel 2003 e 2004 rispettivamente. Anche per il 2005 è previsto il trend positivo degli anni precedenti, con un incremento stimato del 3,1%.

La necessità di trasportare ingenti carichi abbattendo i costi di movimentazione ha individuato nel trasporto marittimo la soluzione migliore, come dimostrano i dati relativi agli ultimi anni.

Nel 2004 infatti, si è raggiunta la cifra record di 6,76 miliardi di tonnellate di merce trasportata con una crescita del 4,3% rispetto al 2003, anno in cui si era già registrata una crescita del 5,8%.

Anche la flotta mercantile, all'inizio del 2005, ha raggiunto la quota di 895,9 milioni di tonnellate lorde con un incremento del 4,5% rispetto all'anno precedente: in particolare, le petroliere e le navi per il trasporto di merce alla rinfusa, che insieme costituiscono il 73,3% del naviglio mondiale, sono cresciute in numero del 6,1 e 4,2 per cento rispettivamente, mentre le navi container hanno subito un incremento dell'8,4%.

In tal senso, i cosiddetti paesi in via di sviluppo, che negli ultimi dieci anni hanno fatto registrare un'importante crescita economica, la Cina su tutti, possono contare sul 22,5% della flotta mondiale: sono infatti gli scambi commerciali tra Asia ed Europa che hanno fatto rilevare un aumento del 10,6% nel 2004 rispetto al 2003.

1.2 La situazione europea

Secondo i dati EUROSTAT [2], il trasporto marittimo di merci in Europa, è costituito per il 63,4% dallo Short Sea Shipping(SSS), ossia il trasporto via mare a corto raggio nell'area che comprende il Mar Mediterraneo, il Mare Del Nord e il Mar Nero.

Nel 2004, lo Short Sea Shipping ha fatto registrare 1,8 miliardi di tonnellate di merce trasportata, segnando una crescita del 4,2% rispetto al 2003: in particolare i traffici più significativi sono stati rilevati nel Mare Del Nord e nel Mar mediterraneo che hanno contribuito nella misura del 29,3% e 26,9% rispettivamente.



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA SEZIONE AMBIENTE

La flotta mercantile europea dello SSS, che ammonta a 1,779,316 miliardi di tonnellate, è costituita principalmente da navi cisterna per rinfuse liquide(50,7%), seguono navi cisterna per le rinfuse solide(18,9%), imbarcazioni di tipo Ro-Ro(Roll-on/Roll-off, 12,7%), navi container(10,2%) e altri tipi di cargo(7,5%).

Un discorso a parte merita il settore crocieristico, che tra il 2003 e il 2005 ha evidenziato una nuova attenzione per il mercato Mediterraneo da parte dei grandi gruppi concentrati tradizionalmente sul mercato caraibico. Tra le compagnie in espansione, si distinguono MSC Crociere, Gruppo Carnival-Costa Crociere, Walt Disney, e, tra i soggetti emergenti, Easy Cruise, Louis Ltd e Ibero Jet.

Anche i nuovi mercati dell'Est e delle Repubbliche Baltiche hanno registrato forti segnali di espansione come dimostrato, ad esempio, dal presidio di Festival Crociere nell'area.

È da notare come tra i paesi europei più attivi in questo settore, grazie alla loro localizzazione geografica, risultino l'Italia e la Spagna.

1.3 La situazione italiana

La particolare posizione geografica dell'Italia all'interno del bacino Mediterraneo fa sì che la nostra penisola sia da sempre considerata un nodo cruciale per i traffici marittimi.

Infatti, il canale di Suez a est e lo stretto di Gibilterra ad ovest la collocano al centro dei traffici commerciali con i paesi orientali e con quelli oltre oceano rispettivamente.

Nello stesso tempo è un punto di riferimento fondamentale per lo Short Sea Shipping [2], che nel 2004 l'ha vista protagonista con il 50,3% dei traffici nel Mar Nero e con il 37,9% nel Mar Mediterraneo. A questo proposito bisogna registrare che tra i primi 20 porti europei nello SSS ben 5 appartengono all'Italia: Trieste, Genova, Augusta, Venezia e Gioia Tauro.

Si inserisce in quest'ottica lo sviluppo delle "Autostrade del Mare"[3] per il trasporto delle merci tra Stati membri per ridurre la congestione stradale e accrescere l'accessibilità alle regioni insulari.

Allo stato attuale le linee marittime delle Autostrade del Mare operative in Italia sono circa 150, di cui 20 nazionali, 30 di cabotaggio obbligato – collegamento con la Sardegna – e 106 internazionali. Negli ultimi anni si è verificato un aumento costante (circa il 20% annuo) del traffico pesante trasferito sulle rotte marittime: la quota del traffico merci complessivo relativo alle Autostrade del Mare è cresciuta dall'1,5% a oltre il 3,5% del traffico merci totale.



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA SEZIONE AMBIENTE

Attualmente sono in costruzione oltre 20 nuove navi specializzate (Ro-Ro e Ro-Pax) presso la cantieristica nazionale. Le navi sono destinate tutte all'armamento italiano, che ha così guadagnato posizioni nella graduatoria del comparto specifico (3° posto a livello mondiale).

Per quel che riguarda il settore crocieristico [4], l'Italia si conferma la prima destinazione del Mediterraneo come numero totale di passeggeri movimentati davanti alla Spagna (3.500.000).

Saranno circa 5.830.000 i passeggeri movimentati nei porti italiani nel 2006 per un totale di oltre 3.940 toccate nave, con un incremento del 15,4% rispetto al 2005.

Inoltre, negli ultimi dieci anni si è quadruplicata la movimentazione dei crocieristi durante il periodo invernale superando il milione e mezzo di passeggeri.

Il fatto che sia prevista la consegna entro il 2008 di trenta nuove imbarcazioni conferma il forte sviluppo del settore e l'interesse delle compagnie di navigazione.

Numerosi sono i porti italiani che beneficiano di questo settore e che registrano un elevato traffico passeggeri, tra cui: Napoli (950.000), Venezia (900.000), Livorno (590.000), Genova (450.000).

Un discorso particolare merita il porto di Civitavecchia che con 1.200.000 crocieristi, non solo risulta essere il primo porto italiano, ma in Europa è secondo solo a Barcellona (1.400.000), passando dalle 50 navi del 1996 alle 711 del 2005 e che mira a diventare l'home-port del Mediterraneo nel settore delle crociere.

1.4 L'evoluzione portuale

Il settore marittimo portuale, negli ultimi trent'anni, è stato interessato da profonde innovazioni tecnologiche e trasformazioni produttive che, connesse ai processi di liberalizzazione dei mercati e all'apertura concorrenziale, hanno modificato sostanzialmente le funzioni portuali.

I porti di terza generazione esprimono chiaramente la nuova realtà: il porto non è più solo un centro di movimentazione (prima generazione) delle attività industriali e commerciali che aggiungono valore alle merci (seconda generazione) ma svolge il ruolo di vera e propria piattaforma logistica, avente lo scopo di offrire i più moderni servizi come ad esempio il "just in time".

Oltre agli aspetti organizzativi e commerciali, il porto deve essere accompagnato da un adeguamento infrastrutturale che deve tener conto di una migliore integrazione con la città.

Non solo infatti la riorganizzazione che il porto deve implementare deve essere indirizzata alle richieste di spazi legati alle funzioni tecnico-logistiche, ma anche alla necessità di coesistenza con



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA SEZIONE AMBIENTE

la città, contrattando con essa una politica del territorio compatibile con i bisogni di entrambi, così da conciliare processi produttivi e qualità della vita.

Strutture commerciali, scientifico-museali e turistico-ricreative, nonché insediamenti per piccole imprese ad alta tecnologia, parchi attrezzati, approdi nautici e terminali crocieristici hanno rivitalizzato il fronte a mare di molte città portuali, apportando notevoli benefici in termini d'immagine e di posti di lavoro aggiuntivi.

In questo contesto si inserisce la politica dello "sviluppo sostenibile", che mira a garantire, anche nel caso dei porti, gli equilibri delle varie componenti ambientali attraverso l'introduzione di tecnologie portuali, metodi di lavoro e infrastrutture all'avanguardia.

Lo studio approfondisce quest'ultimo aspetto, ossia il progetto di una banchina elettrificata, per limitare l'impatto ambientale sia all'interno del porto che all'interno della città portuale, migliorando la qualità della vita degli addetti al porto e dei cittadini rilanciandone l'immagine a livello internazionale.

In particolare ci riferiremo al porto di Civitavecchia, che, come abbiamo già avuto modo di vedere, si presenta come una delle realtà marittime italiane più fiorenti in cui si sta già assistendo ad un processo di ammodernamento portuale.

1.5 Inquadramento geografico

Il comune di Civitavecchia è sito sul litorale laziale ai piedi dei monti della Tolfa e confina a Nord con il territorio del comune di Tarquinia, ad Est con Allumiere, a Sud con S.Marinella, ad Ovest con il mar Tirreno. La sua espansione topografica (71 km²) è notevole, soprattutto lungo la direttrice della Via Aurelia, sia verso Nord con impianto di fabbriche, sia verso Sud, con sviluppo dell'edilizia abitativa.

Verso l'entroterra si alzano i rilievi collinari della Tolfa, che raggiungono le quote massime in prossimità degli abitati di Allumiere e Tolfa (Monte Tolfaccia 579 m slm, circa 10 km ad Est di Civitavecchia). Verso Nord-Ovest la fascia costiera continua pianeggiante raggiungendo la zona delle centrali termoelettriche di Torrevaldaliga, la Punta S. Agostino, la foce del fiume Mignone e infine il lido di Tarquinia. A Sud, invece, la statale Aurelia costeggia il Mar Tirreno fino a Santa Marinella.

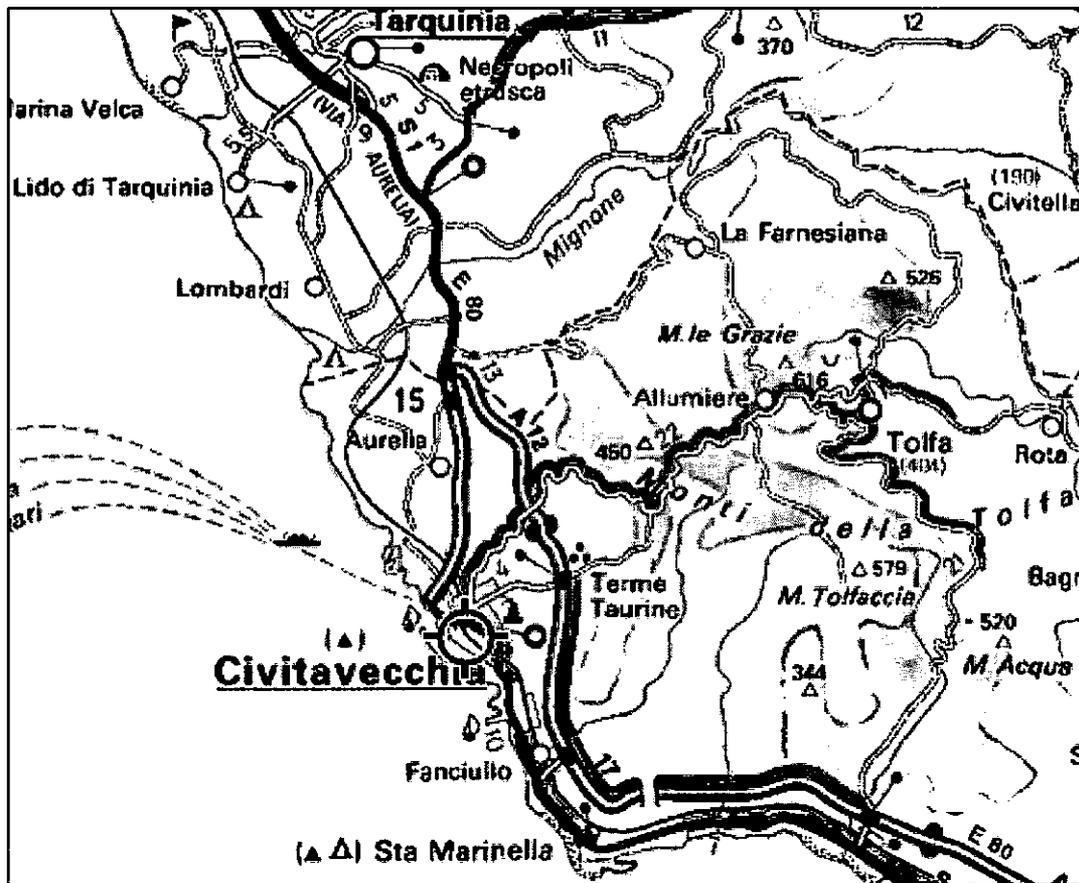


Figura 1: carta geografica del comprensorio di Civitavecchia

Civitavecchia, oltre ad essere il terzo polo energetico nazionale, è divenuto un vivace centro industriale (industrie meccaniche, chimiche, alimentari), ma la sua principale funzione è quella portuale, che ne fa il maggior scalo del Lazio e il più importante capolinea per i collegamenti per la Sardegna.

1.6 Le principali fonti d'inquinamento atmosferico del Comune di Civitavecchia

Di seguito vengono elencati i principali processi antropici del Comune di Civitavecchia che emettono inquinanti nell'atmosfera.

- Traffico veicolare: i motori costituiscono le principali sorgenti d'inquinamento atmosferico nelle aree urbane ad intenso traffico, specie per quanto riguarda gli strati dell'aria più prossimi al terreno. Nei gas da essi scaricati sono contenuti diversi inquinanti come: monossido di



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA SEZIONE AMBIENTE

carbonio (CO), ossidi di azoto (monossido NO e biossido NO₂, NO_x), una grande varietà di idrocarburi derivanti dalla combustione o decomposizione parziale del combustibile (sinteticamente chiamati HC); particelle solide portate in sospensione dai gas, generalmente dette particolato; anidride carbonica.

- Riscaldamento domestico: gli inquinanti sono quelli propri di un processo di combustione.

- Centrali termoelettriche: a circa 6 km Nord – Nord Ovest dalla città di Civitavecchia sorge il polo termoelettrico di Torrevaldaliga che costituisce un sito energetico di importanza nazionale. Quest'ultimo è costituito da due impianti (Torrevaldaliga nord e Torrevaldaliga sud) i cui rilasci verso l'ambiente sono costituiti essenzialmente dai fumi della combustione, dalla restituzione dell'acqua di mare, dai fanghi provenienti dall'impianto di trattamento e dalle ceneri prodotte dalla combustione.

- Traffico portuale ed attività connesse: il porto di Civitavecchia è uno dei principali scali di riferimento per il traffico di cabotaggio con la Sardegna e il primo porto italiano delle crociere. Durante le manovre di ormeggio e in porto i motori a combustione interna delle navi costituiscono un'intensa fonte emittente di ossidi di azoto, di zolfo e particolato, etc. L'altezza dei camini di emissione, che gioca un ruolo importante nella dispersione dei gas nocivi, non è tale in generale da consentire un rimescolamento con gli strati alti dell'atmosfera.

Nella prossima sezione si analizzerà in maniera più specifica e dettagliata la situazione ambientale del porto di Civitavecchia.

1.7 Il porto di Civitavecchia

A partire dalla fine del secolo scorso una nuova importante fase di ristrutturazione è stata avviata per riconfermare Civitavecchia come punto nodale del moderno traffico passeggeri e merci a livello europeo e internazionale. Il progetto prevede la riqualificazione urbana del porto storico, che non sarà più destinato all'attività operativa ma sarà fruibile dai cittadini e dai turisti, e il completamento delle nuove infrastrutture portuali della zona Nord da adibire ai traffici commerciali.

Le principali caratteristiche commerciali dello scalo sono il collegamento con la Sardegna, con linee giornaliere della Società Tirrenia e delle Ferrovie dello Stato, di passeggeri e di merci su gomma e ferrovia e il rifornimento di combustibili liquidi per l'aeroporto di Fiumicino, per le centrali di Torrevaldaliga e di Montalto di Castro, quest'ultima grazie alla realizzazione di un oleodotto



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA SEZIONE AMBIENTE

sottomarino che collega il parco serbatoi di Torrevaldaliga Nord alla centrale di Montalto di Castro. Sviluppato è anche il traffico di merce varia e alla rinfusa. Lo scalo gestisce gli scambi con la Sardegna e i traffici internazionali di graniglia, carbone, rottami di ferro in arrivo e colli di grande dimensione in partenza. Nel 1994 è divenuto operativo il terminale per contenitori che svolge compiti di redistribuzione, in collegamento con i due più grandi poli di Genova e di Gioia Tauro e con La Spezia e Livorno.

Civitavecchia si è imposto, inoltre, come scalo leader nel traffico crocieristico. Le opere di potenziamento delle banchine e delle strutture di accoglienza dei passeggeri hanno permesso di registrare uno straordinario incremento di navi da crociera, passando dalle 50 navi del 1996 alle 500 unità del 2003. Civitavecchia punta a rafforzare il traffico turistico con l'obiettivo di diventare il più importante porto crocieristico del Mediterraneo.

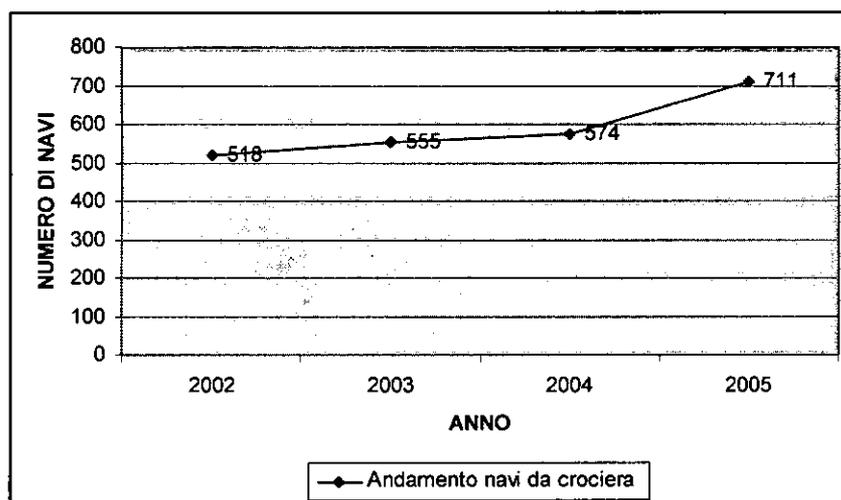


Figura 2 Andamento del traffico crocieristico negli ultimi 4 anni

1.8 Fonti d'inquinamento all'interno del porto

Al fine di stimare le emissioni inquinanti all'interno dell'area portuale, è necessario innanzi tutto classificare il tipo d'inquinamento e ricercare le sorgenti principali per ognuno di essi.



1.8.1 Inquinamento elettromagnetico

È causato principalmente dai radar delle imbarcazioni, dai mezzi movimentati a distanza (quali ad esempio le gru per il carico e scarico merci), nonché da tutte le normali apparecchiature che emettono onde elettromagnetiche.

1.8.2 Inquinamento acustico

Le attività che recano maggior disturbo sono: silos granari dotati di impianti di aspirazione, cantieri navali che prevedono la pulizia degli scafi con getti di sabbia in pressione, impianti di ventilazione dei garage delle navi nonché impianti di scarico delle stesse (canne fumarie, ventilatori sala motori), movimentazione dei container, segnalatori acustici di tipo veicolare e navale, trasporti su rotaia e rumore di fondo prodotto da motori a combustione interna per applicazioni stradali e marittime.

1.8.3 Inquinamento marino

Anche sotto questo aspetto le cause che influenzano l'inquinamento delle acque sono molteplici: scarichi civili e industriali, spurgo dell'acqua di raffreddamento della centrale termoelettrica limitrofa, operazioni di dragaggio, traffico navale, nonché presenza di rifiuti galleggianti.

1.8.4 Inquinamento atmosferico

Indubbiamente l'impiego di motori a combustione interna sono la fonte principale d'inquinamento, ma per una corretta stima dobbiamo individuare il loro campo di applicazione.

-M.c.i. adibiti al traffico veicolare di tipo turistico e commerciale(auto e camion);

-M.c.i. adibiti al traffico navale sia turistico che commerciale;

-M.c.i. impiegati per la movimentazione dei mezzi di carico e scarico(gru container, carrelli motorizzati, etc.).

1.9 Le sorgenti di inquinamento

Per ogni tipologia d'inquinamento le sorgenti emissive sono molteplici, ma si vuole focalizzare l'attenzione sulla struttura "nave" nelle varie fasi di utilizzo.

In particolare, il "traffico navale" è tra i maggiori responsabili delle emissioni in mare e in atmosfera.



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA SEZIONE AMBIENTE

Basti pensare, ad esempio, che le emissioni prodotte da una nave da crociera che staziona nel porto equivalgono a quelle prodotte da 12000 autovetture nello stesso periodo di tempo[5].

Nel successivo paragrafo illustreremo le possibili cause d'inquinamento marino e atmosferico dovute alle imbarcazioni indipendentemente dal tipo di trasporto (merci o passeggeri).

1.10 I principali fattori di impatto ambientale delle navi

Di seguito sono riportati i fattori inquinanti legati alla nave nelle varie fasi di utilizzo, dalla navigazione allo stazionamento in porto durante le attività di carico e scarico.

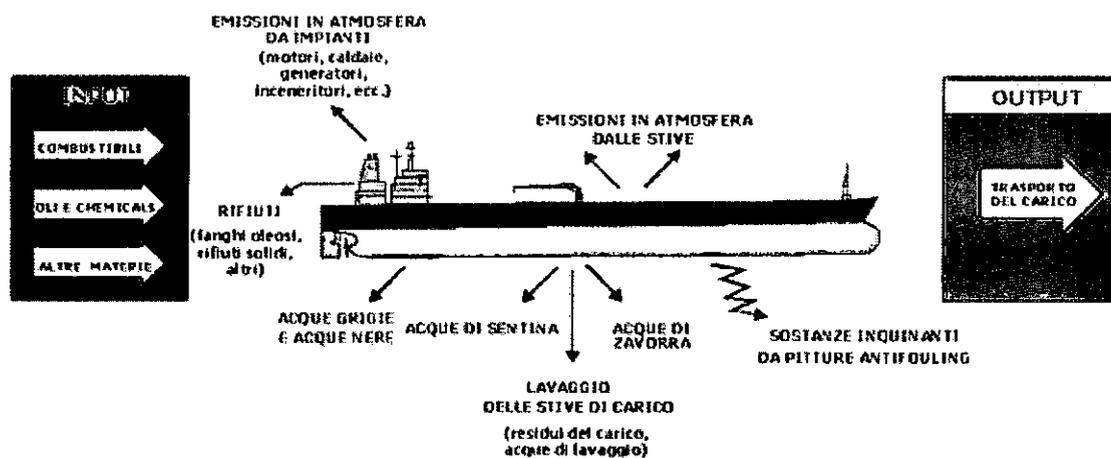


Figura 3: fattori d'impatto ambientale delle navi (Fonte EMAS).

Emissioni in atmosfera di sostanze nocive per l'uomo o dannose per l'ambiente, normalmente derivanti dalla combustione dei motori delle navi ma eventualmente anche associate a perdite da attrezzature o a evaporazione del prodotto trasportato (emissioni evaporative).

Scarichi in mare non accidentali di sostanze liquide o solide: scarichi di acque nere e grigie, scarichi di acque da separatore di sentina; scarichi di acque di lavaggio delle stive del carico; scarico a mare di rifiuti solidi o liquidi prodotti a bordo; rilascio delle acque di zavorra contenenti specie animali o vegetali e forme batteriche nocive.

Usura dei metalli e delle vernici applicate allo scafo dell'imbarcazione.

Danni associati agli eventi accidentali (collisione, incendio, arenamento, esplosione, errore umano non associato a tali cause) occorsi ai mezzi navali o a specifiche attrezzature a bordo. Questi possono causare rilasci di sostanze inquinanti in atmosfera (fughe di gas tossico-nocivi, incendi a



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA
SEZIONE AMBIENTE

carichi pericolosi, etc.) oppure sversamenti di idrocarburi trasportati (petroliere) o di combustibile (qualsiasi nave).



1.11 Stima dell'inquinamento atmosferico navale

Di seguito, sarà effettuata una stima delle emissioni atmosferiche dovute ai motori a combustione interna delle navi ormeggiate nel porto di Civitavecchia.

Per il nostro studio ci si avvarrà del "Rapporto sulle emissioni navali" stilato dalla comunità europea nel 2005 [6].

1.11.1 Classificazione delle navi

Facendo riferimento al Lloyd's Maritime Information System (LMIS), sono state prese in considerazione solo le navi oltre le 500 tonnellate lorde di peso, in quanto quelle di stazza inferiore non sono contemplate in questo database.

La suddivisione in tre categorie, piccole-medie-grandi, è stata fatta in base alla potenza del motore ausiliario (AE=Auxiliary Engine) e principale (ME=Main Engine) installati.

1.11.2 Numero e potenza dei motori installati

Secondo il documento della comunità europea, la media dei motori installati per ogni categoria è la seguente:

Tabella 1 Numero medio dei motori installati per ogni categoria di nave

	Piccola	Media	Grande
ME	1 piccolo	1 medio	1 grande
AE	4 piccolo	4 medio	4 grande

Di seguito riportiamo la potenza dei motori principali ed ausiliari divisi per categoria:

Tabella 2 Potenza dei motori principali (ME)

	Piccola	Media	Grande
Classificazione dei motori principali (ME) in kW	ME < 6000	6000 <= ME <15000	15000 =< ME
Limiti inferiore e superiore della potenza installabile (kW)	75 - 6000	6000 -15000	15000 -146618
Potenza di riferimento utilizzata per i calcoli (kW)	3000	10000	25000



**OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA
SEZIONE AMBIENTE**

Tabella 3 Potenza dei motori ausiliari (AE)

	Piccola	Media	Grande
Classificazione dei motori ausiliari (AE) in kW	AE < 1000	1000 <= AE < 2000	AE >= 2000
Limiti inferiore e superiore della potenza installabile(kW)	4 - 1000	1000 - 2000	2000 - 18687
Potenza di riferimento utilizzata per i calcoli(kW)	4·140 = 560	4·370 = 1480	4·950 = 3800

1.11.3 Fattore di carico

Il fattore di carico dovrebbe variare a seconda del tipo di nave, ma per questo tipo di studio è stato considerato un valore medio suddiviso per 3 tipi d'impiego:

Tabella 4 Fattori di carico dei motori principali ed ausiliari

	ME		AE	
	Fattore di carico	Tempo d'impiego	Fattore di carico	Tempo d'impiego
In navigazione	80%	100%	30%	100%
In banchina	20%	5%	40%	100%
In manovra	20%	100%	50%	100%



1.11.4 Ore d'impiego

Se si vuole conoscere l'energia totale utilizzata in un anno bisogna sapere anche per quanto tempo sono stati impiegati i motori. Attraverso lo studio delle movimentazioni navali e il monitoraggio delle operazioni portuali, la commissione europea ha calcolato il tempo medio di funzionamento in un anno:

Tabella 5 Ore impiegate all'anno per le operazioni principali

	Tempo medio d'impiego dei motori (ore/anno)
Tempo in navigazione	6000
Tempo in banchina	700
Tempo in manovra	20
Tempo totale	6720
Tempo trascurabile	2040
Ore totali in un anno	8760

1.11.5 Energia totale utilizzata dai motori

Moltiplicando la potenza media installata, per il fattore di carico e per le ore d'impiego otteniamo l'energia totale utilizzata in un anno per ogni classe d'imbarcazione. Per il nostro studio è importante distinguere i motori principali da quelli ausiliari: infatti le immissioni nell'ambiente durante il periodo di ormeggio sono dovute all'utilizzo di quest'ultimi.

Tabella 6 Energia prodotta dai motori principali (ME) di ogni singola imbarcazione divisa per categoria

	Piccola (MWh/anno)	Media (MWh/anno)	Grande (MWh/anno)
In navigazione	14400	48000	120
In banchina	21	70	175
In manovra	12	40	100
Potenza totale impiegata	14433	48110	120275



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA
SEZIONE AMBIENTE

Tabella 7 Energia prodotta dai motori ausiliari (AE) di ogni singola imbarcazione divisa per categoria

	Piccola (MWh/anno)	Media (MWh/anno)	Grande (MWh/anno)
In navigazione	4·252 = 1008	4·666 = 2664	4·1710 = 6840
In banchina	4·39,2 = 156,8	4·103,6 = 414,4	4·266 = 1064
In manovra	4·1,4 = 5,6	4·3,7 = 14,8	4·9,5 = 38
Potenza totale	1170	4·773,3 = 3093,2	4·1985,5 = 7942

Tabella 8 Energia totale prodotta (ME+AE)

	Piccola (kWh/anno)	Media (kWh/anno)	Grande (kWh/anno)
In navigazione	15408000	50664000	126840000
In banchina	177800	484400	1239000
In manovra	17600	54800	138000
Potenza totale usata	15603400	51203200	128217000

1.11.6 Combustibili impiegati nei motori navali

L'energia elettrica utilizzata dalle imbarcazioni durante la sosta in banchina è prodotta per il 90% dai motori ausiliari; quindi per il calcolo delle emissioni si dovrà tener conto del diverso tipo di combustibile utilizzato da questi.

Le navi prese in considerazione nel nostro studio utilizzano principalmente due tipi di combustibile: gasolio marittimo (MGO = Marine Gas Oil) e olio combustibile pesante (RO= Residual Oil).

Il primo contiene tra lo 0,1 e lo 0,4 per cento di zolfo (S) ed entro il 2010 dovrà essere adottato (S=0,1%) su tutti i tipi d'imbarcazione che navigano e sostano all'interno dei porti della Comunità Europea; il secondo invece è quello attualmente utilizzato ed è caratterizzato da una percentuale di zolfo del 2,7%.

I dati sul consumo di combustibile e le rispettive emissioni fanno riferimento all'ENTEC: European Commission Directorate General Environment [7].



1.11.7 Consumo di combustibile

Il consumo specifico varia a seconda del tipo di combustibile come segue:

Tabella 9 Consumo specifico di combustibile

	consumo specifico di combustibile (g/kWh)
Ausiliari che utilizzano gasolio marittimo (S=0.1%)	217
Ausiliari che utilizzano olio combustibile pesante (S=2.7%)	227

Assumendo come combustibile l'olio pesante e trascurando i tempi di accosto alla banchina, possiamo calcolare il consumo annuale degli ausiliari per ogni tipo d'imbarcazione durante l'ormeggio:

Tabella 10 Consumo annuo di combustibile (S=2.7) durante l'ormeggio in banchina

	Piccola (t/anno/nave)	Media (t/anno/nave)	Grande (t/anno/nave)
Consumo di combustibile degli ausiliari	34	94	241

1.11.8 Fattori di emissione dei prodotti derivanti dalla combustione interna dei propulsori navali

I principali inquinanti presenti nei gas di scarico delle imbarcazioni sono:

- NO_x: ossidi di azoto (comprendenti monossido di azoto (NO) e biossido di azoto (NO₂));
- SO₂: biossido di zolfo;
- VOC: componenti organici volatili;
- PM: particolato (polveri), caratterizzato da una dimensione inferiore al micrometro.

Considerando i fattori di emissione di ogni singola tipologia di nave, il fattore di carico e il tipo di motore installato è stato possibile calcolare il fattore medio di emissione per ogni tipo d'inquinante:



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA
SEZIONE AMBIENTE

Tabella 11 Fattori di emissione

Fattori di emissione	NOx(g/kWh)	SO2(g/kWh)	VOC(g/kWh)	PM(g/kWh)
Ausiliari che utilizzano olio combustibile (S=2.7%)	12.47	12.30	0.40	0.80
Ausiliari che utilizzano gasolio marittimo (S=0.1%)	11.8	0.46	0.40	0.30

1.11.9 Stima delle emissioni

Conoscendo i fattori di emissione e l'energia totale utilizzata in un anno durante il periodo di ormeggio in banchina, possiamo calcolare la quantità d'inquinanti immessa nell'atmosfera per ogni tipo d'imbarcazione:

Tabella 12 Emissioni medie prodotte in un anno da una singola imbarcazione

	Piccola	Media	Grande
NOx (t/anno/nave)	2,2	6,4	15,4
SO2 (t/anno/nave)	2,1	6	15,2
VOC (t/anno/nave)	0,07	0,2	0,5
PM (t/anno/nave)	0,4	0,8	1,6

Secondo i dati forniti dall'Ente Porto, nel 2004 e nel 2005 i transiti all'interno del porto di Civitavecchia sono stati rispettivamente 3381 e 3734 da parte di imbarcazioni di stazza superiore alle 500 tonnellate lorde. Tali imbarcazioni sono state suddivise in base alla classificazione del R.I.N.A., il Registro Italiano Navale, come segue:

Tabella 13 Suddivisione per tipo delle navi transitate nel porto di Civitavecchia.

	Piccola	Media	Grande	Totale
Numero di navi (2004)	215	190	100	505
Numero di navi (2005)	240	220	120	580

In base a questa suddivisione abbiamo stimato la quantità di agenti inquinanti prodotti dalle imbarcazioni che hanno stazionato nel porto di Civitavecchia nel 2004 e nel 2005:



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITA
SEZIONE AMBIENTE

Tabella 14 Stima delle emissioni prodotte nel 2004 nel porto di Civitavecchia

	Piccola	Media	Grande	Totale
NO _x (t/anno)	215·2,2 = 473	190·6,4 = 1216	100·15,4 = 1540	3229
SO ₂ (t/anno)	215·2,1 = 451	190·6 = 1140	100·15,2 = 1520	3111
VOC (t/anno)	215·0,07 = 15	190·0,2 = 38	100·0,5 = 50	103
PM (t/anno)	215·0,4 = 86	190·0,8 = 152	100·1,6 = 160	398

Tabella 15 Stima delle emissioni prodotte nel 2005 nel porto di Civitavecchia

	Piccola	Media	Grande	Totale
NO _x (t/anno)	240·2,2 = 528	220·6,4 = 1408	120·15,4 = 1848	3784
SO ₂ (t/anno)	240·2,1 = 504	220·6 = 1320	120·15,2 = 1824	3648
VOC (t/anno)	240·0,07 = 17	220·0,2 = 44	120·0,5 = 60	121
PM (t/anno)	240·0,4 = 96	220·0,8 = 176	120·1,6 = 192	464

Da cui deriva la seguente tabella di confronti percentuali.

Inquinanti	Variazione percentuale di emissioni del porto tra 2004 e 2005	emissioni porto 2004 rispetto a emissioni TVN 2003	emissioni porto 2005 rispetto a emissioni TVN 2003
NO _x (t)	14,67%	61,32%	71,86%
SO ₂ (t)	14,72%	29,36%	34,43%
PM (t)	14,22%	54,45%	63,47%

Da questa breve sintesi si evince come la crescita annua del porto di Civitavecchia dal punto di vista economico e commerciale sia accompagnata da un aumento delle emissioni.

Inoltre, questi dati mettono in risalto come le percentuali di emissioni provenienti dalle navi in scalo presso il porto siano paragonabili, in particolare per NO_x e PM, con le emissioni della Centrale di TVN in un anno (2003) in cui la produzione di energia è risultata pari a più di 11.114 GWh per 4210 ore equivalenti di funzionamento a piena potenza.



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA
SEZIONE AMBIENTE

Nell'eventuale computo dell'impatto ambientale di tali emissioni su scala locale è da tenere in considerazione l'altezza dei camini da cui provengono i fumi della combustione e quindi il fatto che gli inquinanti emessi dai camini delle Centrali sono soggetti ad un forte rimescolamento e si distribuiscono su aree molto più ampie di quelli emessi da sorgenti locali.



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA
SEZIONE AMBIENTE

1.12 Considerazioni sul valore delle immissioni

La stima delle emissioni delle imbarcazioni che stazionano nel porto di Civitavecchia non ci permette di definire l'incidenza di quest'ultime nel panorama ambientale della città rispetto alle altre fonti primarie d'inquinamento che sono il traffico veicolare e le centrali termoelettriche, ma è possibile fare alcune considerazioni prendendo spunto dai valori medi delle emissioni registrate dalle centraline dell' "Osservatorio Ambientale di Civitavecchia".

Si riportano gli andamenti di SO₂, NO₂ e PM₁₀ registrati dal 2003 al 2006 nelle stazioni di rilevamento dei comuni limitrofi a Civitavecchia (giro esterno) e delle stazioni posizionate all'interno del Comune di Civitavecchia nelle vicinanze del porto marittimo (giro interno).

Infatti il numero di Gruppi attivi della Centrale di TVN in questi anni è variato come segue:

- I trimestre 2003 4 gruppi attivi
- I trimestre 2004 3 gruppi attivi
- I trimestre 2005 2 gruppi attivi
- I trimestre 2006 0 gruppi attivi

Tabella 16 Postazioni del giro esterno: valori di SO₂

Periodo	Tarquini (media in ppb)	Santa Marinella (media in ppb)	Monteromano (media in ppb)	Allumiere (media in ppb)	Tolfa (media in ppb)
I trimestre 2003	3	3	3	4	4
I trimestre 2004	3	3	3	3	3
I trimestre 2005	3	4	2	3	4
I trimestre 2006	1	1	1	2	1

Tabella 17 Postazioni del giro interno: valori medi di SO₂

Periodo	S.Gordiano (media in ppb)	Fiumaretta (media in ppb)	Faro (media in ppb)	Campodelloro (media in ppb)	Aurelia (media in ppb)
I trimestre 2003	3	3	2	4	3
I trimestre 2004	3	4	3	3	4
I trimestre 2005	4	3	3	3	4
I trimestre 2006	3	2	4	2	3



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA
SEZIONE AMBIENTE

Tabella 18 Postazioni del giro esterno: valori medi di NO₂

Periodo	Allumiere (media in ppb)
I trimestre 2003	4
I trimestre 2004	7
I trimestre 2005	6
I trimestre 2006	6

Tabella 19 Postazioni del giro interno: valori medi di NO₂

Periodo	S.Gordiano (media in ppb)
I trimestre 2003	5
I trimestre 2004	6
I trimestre 2005	9
I trimestre 2006	8

Tabella 20 Postazioni del giro interno: valori medi di PM₁₀

Periodo	Fiumaretta (media in µg/Nm ³)	Faro (media in µg/Nm ³)	Quattroporte (media in µg/Nm ³)
I trimestre 2003	46 (polveri)	17 (polveri)	-
I trimestre 2004	32 (polveri)	23 (polveri)	56
I trimestre 2005	58 (polveri)	27 (polveri)	32
I trimestre 2006	22 (PM10)	19 (PM10)	37

Analizzando le tabelle si possono fare due constatazioni: la prima è che i valori registrati dalle centraline del giro esterno sono leggermente inferiori a quelli registrati dalle centraline del giro interno; la seconda è che dopo la dismissione della Centrale ad olio combustibile di Torrevaldaliga nord, iniziata nel gennaio 2004 e terminata alla fine del 2005, la diminuzione delle immissioni risulta evidente – ma non così consistente – solo per l'inquinante SO₂ rilevato dalle postazioni dell'anello esterno di Civitavecchia e non da quelle dell'anello interno.

L'NO₂ tende più ad aumentare che a diminuire tra il 2003 e il 2006 e anche in questo caso nella centralina di Civitavecchia (S.Gordiano) si ha un valore maggiore rispetto alla centralina di Allumiere.

Le polveri/PM₁₀ sono difficilmente confrontabili in quanto a partire dal 2006 si misurano i PM₁₀ e non più le Polveri Totali Sospese come negli anni precedenti. La centralina di Fiumaretta ha avuto un picco nel 2005 ma si suppone che ciò sia stato legato al cantiere presente sul sito. Le polveri a Faro sono aumentate tra il 2003 e il 2005 per poi decrescere in maniera evidente nel 2006. La stazione Quattroporte è orientata al monitoraggio dell'inquinamento da traffico e il livello delle



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA SEZIONE AMBIENTE

polveri da essa rilevate diminuisce notevolmente tra 2004 e 2005 per poi aumentare nell'anno successivo.

Con ciò si può supporre che la differente tendenza tra postazioni di rilevamento interne ed esterne a Civitavecchia sia dovuta alla natura dell'impatto ambientale della Centrale (ovvero su ampio raggio e non localmente) nonché alla presenza di fonti di inquinamento diverse dalla Centrale all'interno del Comune di Civitavecchia.

Nel successivo paragrafo descriveremo brevemente alcune possibili soluzioni tecniche al problema dell'inquinamento causato dalle imbarcazioni e cercheremo di individuare quella più adatta al nostro caso.

1.13 Sistemi di abbattimento delle emissioni inquinanti

Gli studi sino ad ora effettuati sono molteplici e differenti tra loro, presentano soluzioni costruttive diverse e consentono un abbattimento delle emissioni diversificato.

I principali sistemi anti-inquinamento sono:

SSE (Shore-Side Electricity): si tratta di una banchina elettrificata in grado di fornire corrente elettrica alle navi ormeggiate nel porto senza l'utilizzo dei motori ausiliari.

DWI (Direct Water Injection): consiste nell'introdurre all'interno del cilindro una miscela di acqua e combustibile pressurizzata che consente minori consumi ed emissioni.

EGR (Exhaust Gas recirculation): consiste nel reintrodurre all'interno del cilindro, insieme all'aria pulita, una parte dei gas di scarico, consentendo di diminuire la temperatura massima della combustione rallentando così la formazione di NO_x.

SCR (Selective Catalytic Reduction): si inietta dell'ammoniaca direttamente sui gas di scarico, che reagendo con l'NO_x presente nei fumi produce azoto ed acqua: per accelerare la reazione si utilizzano dei catalizzatori che solitamente sono dei composti di vanadio e titanio. Questa soluzione può essere



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA
SEZIONE AMBIENTE

adottata sia per motori che utilizzano gasolio marittimo (MGO) sia per quelli che utilizzano olio combustibile pesante (RO).

SWS (Sea Water Scrubbing): questo sistema utilizza le proprietà chimiche dell'acqua di mare per trasformare l'SO₂ presente nei gas di scarico in SO₄ e prevede che tutti i prodotti della combustione siano riversati in mare, evitando così l'inquinamento atmosferico a sfavore di quello marino (anche se in maniera meno accentuata).

FS (Fuel Switching): consiste nell'impiegare olio combustibile pesante con un tenore di zolfo dello 0,5% anziché del 2,7%, riducendo così le emissioni di SO₂.

Ognuno dei metodi descritti consente di ridurre le emissioni in maniera più o meno significativa; di seguito riportiamo le percentuali di abbattimento dei quattro principali inquinanti presenti nei fumi di scarico delle imbarcazioni:

Tabella 21 Percentuali di abbattimento delle emissioni

Sistema di abbattimento	(% di riduzione (-) o incremento (+) delle emissioni per imbarcazione			
	SO ₂	NO _x	PM	VOC
SSE (2,7%S RO fuel)	-96%	-97%	-96%	-94%
SSE (0,1%S MGO)	0%	-97%	-89%	-94%
DWI	0%	-50%	0%	0%
EGR	-93%	-35%	-63%	±
SCR(2.7% RO)	0%	-90%	0%	0%
SCR(0.1% MGO)	-96%	-90%	-63%	±
SWS	-75%	0%	25%	±
FS (2.7→0.5% S RO)	-81%	±	-20%	±

±: nessuna informazione esaustiva al riguardo



OSSERVATORIO AMBIENTALE - CITTÀ DI CIVITAVECCHIA SEZIONE AMBIENTE

Dal confronto dei dati riportati in tabella si può notare come il metodo caratterizzato dall'utilizzo della banchina elettrificata presenti l'abbattimento di emissioni più cospicuo di SO₂, NO_x e particolati; non solo, ma è anche l'unico sistema in grado di abbattere la quasi totalità dei composti organici volatili.

Inoltre, il suo funzionamento è indipendente dal combustibile impiegato dalle imbarcazioni e quindi non presenterebbe problemi di utilizzo neanche dopo l'entrata in vigore obbligatoria del carburante a basso tenore di zolfo nel 2010.

A tutto ciò si unisce il fatto che il suo range di utilizzo si estende a qualunque tipo d'imbarcazione, dotata di qualunque motorizzazione e presenta una tecnologia già matura per la messa in opera.

Al contrario gli altri sistemi hanno un campo di applicazione limitato oppure la loro tecnologia ha bisogno di ulteriori studi prima di poter essere applicata su larga scala.

Alla luce di questi fattori è evidente che l'utilizzo della banchina elettrificata come sistema di abbattimento delle emissioni risulti la migliore sia dal punto di vista tecnologico che ambientale rispetto alle altre considerate.

1.14 Conclusioni

Dalla precedente trattazione si è evidenziato come il traffico marittimo nel porto di Civitavecchia incida sensibilmente sul computo totale dell'inquinamento atmosferico della città.

Questo fenomeno, vista la fiorente attività portuale di Civitavecchia, è destinato ad aumentare sensibilmente nei prossimi anni, con pesanti ripercussioni sulla salute dei cittadini, sull'ambiente e sull'immagine del porto e della città stessa.

Dato che l'area portuale sta attraversando una profonda fase di espansione e ristrutturazione, se si vuole raggiungere un elevato standard di efficienza e di qualità non si può pensare di prescindere dal problema ambientale. Tenendo presenti queste considerazioni è possibile riconoscere nella "banchina elettrificata" una struttura moderna e all'avanguardia, in grado di limitare di molto le emissioni atmosferiche conferendo altresì al Porto di Civitavecchia la possibilità di rappresentare un modello a livello europeo.



Bibliografia

- [1] United Nations Conference on trade and development, “Review of maritime transport 2005”
- [2] Giuliano Amerini, “Short Sea Shipping of goods 2000-2004”, European Community 2006U.S.
- [3] www.autostrademed.it.
- [4] Sergio Senesi, “Previsioni e statistiche traffico crociere porti italiani”, Seatrade Miami 2006
- [5] California Air Resources Board, “Shoreside Power for Marine Vessels Environmental Perspective”, 2004
- [6] European Commission Directorate General Environment, “Task 2 – General Report on abatement techniques”, 2005
- [7] European Commission Directorate General Environment, “Task 1 – Preliminary Assignment of ShipEmissions to European Countries”, 2005