



UDICER/NAUTITEST
Organismo Notificato
per la certificazione delle
unità da diporto

CONVEGNO NAVI ED AMBIENTE



MARPOL ANNESSO VI **Stato della normativa, sviluppi e** **metodologie per il suo rispetto.**

Relatore

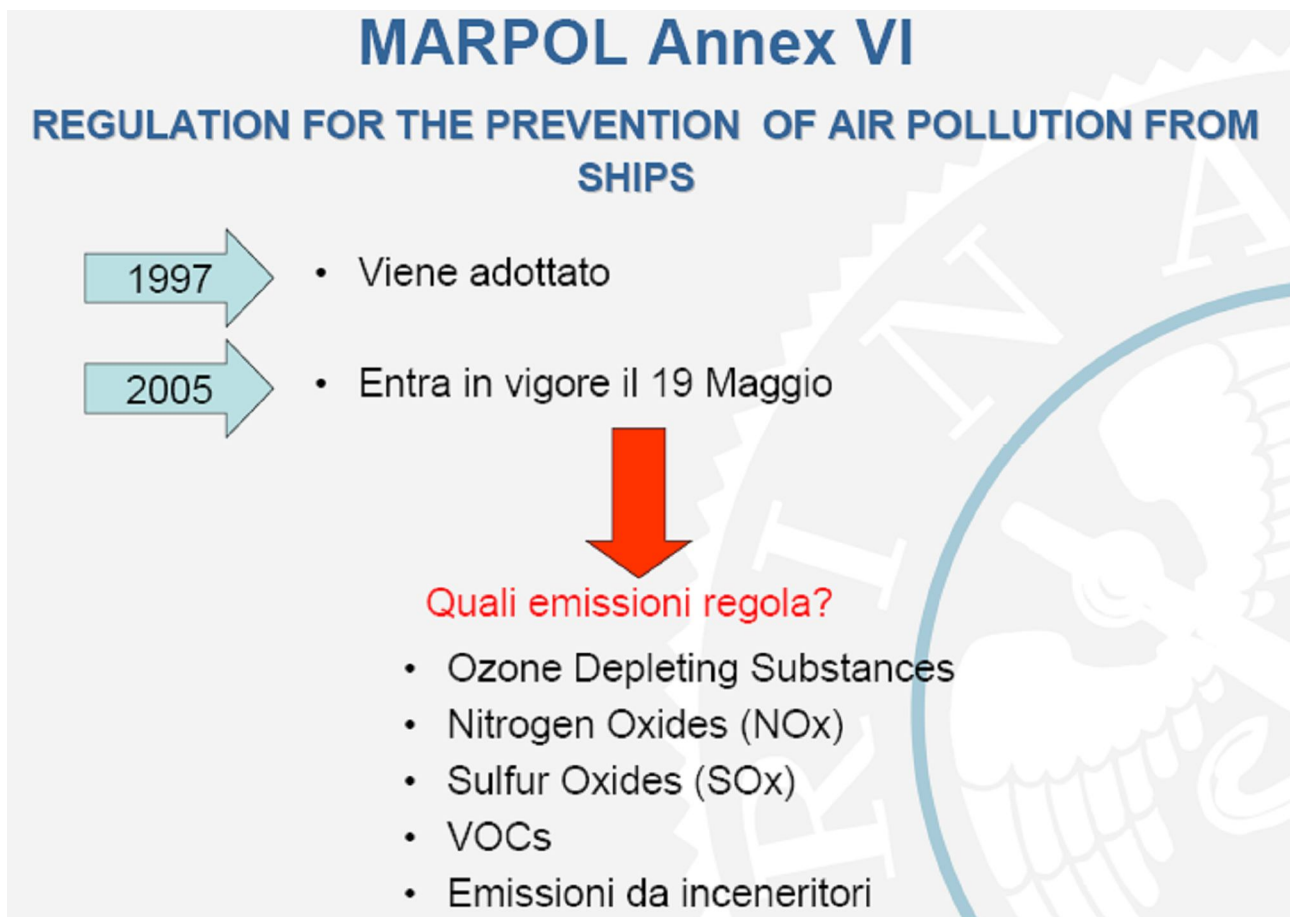
Roberto FORMENTI

MARPOL ANNESSO VI

Stato della normativa, sviluppi e metodologie per il suo rispetto.

Come ormai tutti sappiamo, la MARPOL è la principale convenzione internazionale finalizzata alla prevenzione dell'inquinamento marino derivante sia dalla normale attività operativa delle navi che da eventi del tutto eccezionali quali il versamento in mare di idrocarburi.

La MARPOL è una combinazione di due trattati adottati rispettivamente nel 1973 e nel 1978 ed aggiornati negli anni successivi con numerosi emendamenti. Nacque con cinque Annessi che riguardavano in modo specifico il mare, ma più recentemente ne è stato aggiunto un sesto che invece riguarda l'inquinamento dell'aria.



Quest'ultimo, denominato appunto Annesso VI, adottato nel 1997, è entrato in vigore il 19.05.2005, dodici mesi dopo il raggiungimento delle condizioni che erano state prefissate, per questo come per gli altri Annessi, per la sua entrata in vigore : cioè ratifica da parte di almeno 15 stati che rappresentassero almeno il 50 % della stazza lorda mondiale.

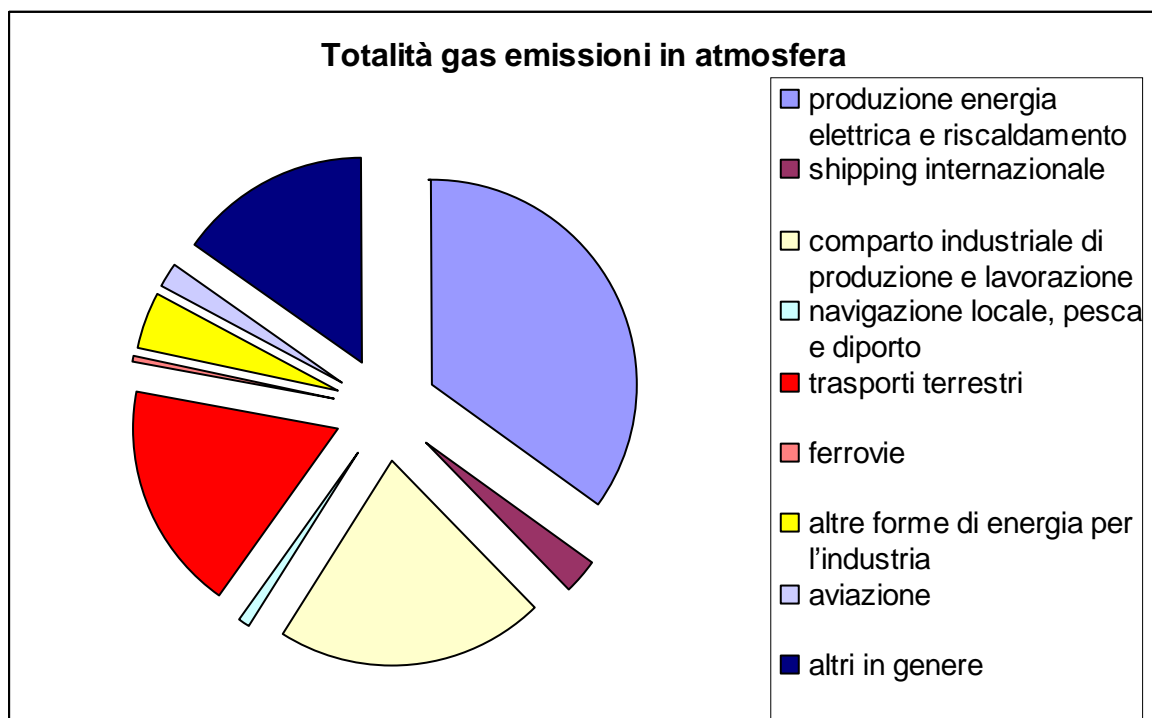
L'Annesso VI si applica alle navi il cui paese di bandiera abbia ratificato il protocollo 1997 e a tutte le navi che pur battendo bandiera di paesi che non sono firmatari, operano in acque la cui competenza è di paesi aderenti a tale protocollo.

L'Annesso VI si propone di regolamentare le seguenti emissioni:

- 1) sostanze che influenzano lo strato di ozono nell'atmosfera (gas refrigeranti e /o antincendio)
- 2) ossidi di azoto e di zolfo presenti nei gas di scarico dei motori a combustione interna
- 3) componenti organici volatili (VOC) provenienti dalla zona del carico di navi cisterna
- 4) emissioni da inceneritori.

Nel luglio 2005, solo due mesi dopo la entrata in vigore del protocollo, il MEPC ha ritenuto necessario procedere ad una revisione dell'Annesso VI in quanto le industrie terrestri stavano procedendo ad una significativa riduzione delle loro emissioni, mentre il volume di traffico marittimo stava progressivamente aumentando. Infatti, considerando la totalità delle emissioni di gas nell'atmosfera, le percentuali di competenza dei vari operatori "inquinanti" possono essere così attribuite :

35,0 %	produzione energia elettrica e riscaldamento
21,3 %	comparto industriale di produzione e lavorazione
18,2 %	trasporti terrestri
2,7 %	shipping internazionale
1,9 %	aviazione
0,6 %	navigazione locale, pesca e diporto
0,5 %	ferrovie
4,6 %	altre forme di energia per l'industria
15,3 %	altri in genere



Per portare avanti tale revisione, sono stati istituiti un Working Group e due Correspondence Groups, con l'obiettivo di analizzare e definire strategie e limiti, nonché di studiare varie possibilità di ridurre ulteriormente le varie emissioni e di migliorare i vari sistemi operativi.

Tale processo di revisione è stato concluso dal MEPC 57 e l'intero set di emendamenti adottato nell'ottobre 2008 (MEPC 58), con data di entrata in vigore il 1 luglio 2010, e riguarda le emissioni di NO_x e SO_x e tutte quelle delle cosiddette "ozone depleting substances".

I suddetti emendamenti hanno comportato la variazione delle Regole 12, ozone depleting substances, 13 relativa alle emissioni di NO_x, e 14, relativa invece alle emissioni di SO_x.

La reg. 12 ha confermato la assoluta proibizione di scaricare prodotti qualificati come potenzialmente pericolosi, sia per uso che per lavori e manutenzione, proibendo nuove installazioni di questo tipo e accettando, solo fino al 1 gennaio 2020 impianti con HCFC. Ha inoltre introdotto un Record Book per registrare ogni movimento a bordo dei prodotti considerati, da tenere a disposizione delle Autorità preposte ai controlli.

La reg. 13 ha comportato invece limiti molto più severi nei valori delle emissioni degli ossidi di azoto, e vale la pena di esaminarne più dettagliatamente il contenuto.

Ossidi di Azoto (NO_x)

(Reg 13 - parte 1 – motori installati su navi costruite a partire dal 1° Gennaio 2000)

Campo di applicazione per
Motori diesel caratterizzati da un power output > 130 kW

Data di costruzione		2000	2011	2016
Attuale Annesso VI		TIER I					
Nuovo Annesso VI	All'esterno di NECA	TIER I		TIER II			
	All'interno di NECA	N.A.				TIER III	

TIER II

- | | |
|-----|---|
| (a) | 14.4 g/kWh when n is less than 130 rpm |
| (b) | $44 * n^{(-0.23)}$ g/kWh when n is 130 or more but less than 2000 rpm |
| (c) | 7.7 g/kWh when n is 2000 rpm or more |

TIER III

- | | |
|-----|---|
| (a) | 3.4 g/kWh when n is less than 130 rpm |
| (b) | $9 * n^{(-0.2)}$ g/kWh when n is 130 or more but less than 2000 rpm |
| (c) | 2.0 g/kWh when n is 2000 rpm or more |

Si ricorda che i motori a combustione interna considerati sono quelli di potenza maggiore di 130 kW, con la distinzione tra quelli costruiti ed installati dopo il 2000 e quelli precedenti.

I motori soggetti alla nuova normativa, identificati come “post 2000”, oltre ai limiti già prefissati dalla norma precedente, denominato livello I. che fissava tra 17 g/kWh e 9,8 g/kWh i valori delle emissioni, in funzione del numero dei giri del motore (qui e in tutti gli altri casi simili per valori rpm inferiori a 130 o superiori a 2000, con opportuna interpolazione predeterminata per valori intermedi), è stata stabilita una ulteriore diminuzione che porta i valori precedenti al 14,4 e al 7,7 g/kWh, con una riduzione percentuale media di circa il 20%, e questo a partire dal gennaio 2011.

Sono state inoltre definite delle aree a “ emissione controllata”, le cosiddette NECA (NO_x Emission Control Areas), entro le quali i sopraccitati limiti dovranno scendere ulteriormente a valori di 3,4 e 2,0 g/kWh, a partire dal gennaio 2016, con sole poche e giustificate eccezioni.

Ossidi di Azoto (NOx)

(Reg 13 - parte 2 – motori installati su navi costruite precedentemente al 1° Gennaio 2000))

Nuovo requisito per:

1. Motori diesel installati su navi costruite tra il 1° Gennaio 1990 ed il 1° Gennaio 2000
2. Power output > 5.000 kW
3. Per cylinder displacement ≥ 90 liter

TIER I


(a) 17.0g/kWh when n is less than 130 rpm

(b) $45.0 \cdot n^{(-0.2)}$ g/kWh when n is 130 or more but less than 2000 rpm

(c) 9.8 g/kWh when n is 2000 rpm or more

Condizioni:

1. Esistenza di un sistema di retrofitting certificato da un'Amministrazione
2. Disponibilità di tale sistema sul mercato
3. Analisi Costi - benefici

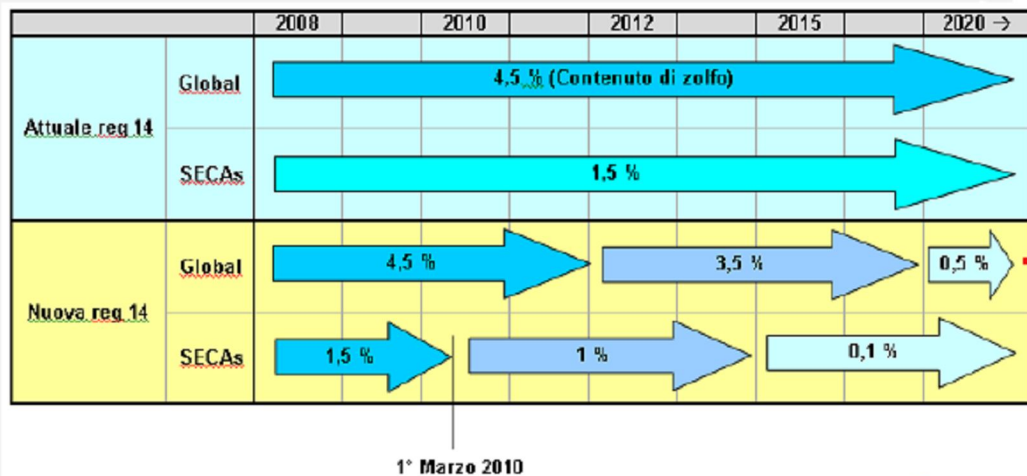


La presente regola però non si è limitata ai motori post 2000 ma ha preso in considerazione anche quelli “pre 2000”, in particolare quelli installati tra il 1 gennaio 1990 e il 31 dicembre 1999, aventi potenza maggiore di 5000 kw e cilindrata unitaria maggiore di 90 litri. Per tali motori la nuova normativa ha richiesto il rispetto dei valori del Livello I, subordinatamente però dalle seguenti condizioni :

- esistenza di un sistema di retrofitting certificato da una Amministrazione firmataria della convenzione e notificato all'IMI
- esistenza del suddetto sistema sul mercato
- buon rapporto costi-benefici.

L'adeguamento della nave ai valori del Livello I dovrà avvenire entro pochi mesi (al massimo 12) dall'ultima ispezione dopo il raggiungimento delle condizioni suddette.

Ossidi di Zolfo (SOx) (Reg 14)



Eventuale rinvio al 2025

Expert Group IMO
Disponibilità di combustibili
allo 0,5% (entro il 2018)?

La regola 14 introduce emendamenti dal contenuto restrittivo del tutto paragonabili alla Reg. 13, con conseguenze forse ancora più pesanti sullo shipping. La vecchia normativa infatti prevedeva, fuori delle aree speciali, le cosiddette SECA (SOx Emission Control Areas), l'uso di combustibili aventi un contenuto di zolfo non superiore al 4,5 %, mentre all'interno delle predette aree il contenuto massimo di zolfo non doveva superare il 1,5 %, con la possibilità di usare, in alternativa, sistemi di abbattimento degli SOx (scrubbers) in grado di garantire emissioni non superiori a 6 g/kWh.

La normativa recentemente approvata invece riduce, fuori delle SECA, la suddetta percentuale al 3,5 % a partire dal 1 gennaio 2012 e allo 0,5 % a partire dal 1 gennaio 2020.

Entro le SECA poi, la odierna percentuale dello 1,5 % verrà consentita fino al 1 luglio 2010, per scendere poi all' 1,0 % e ridursi ulteriormente allo 0,1 % a partire dal 1 gennaio 2015.

Questi limiti sono molto restrittivi, e, a parte i costi molto elevati per produrre combustibili a così basso tenore di zolfo, l'industria petrolifera ha già espresso i suoi fondati dubbi sulla reale possibilità di poter fornire, per le date suddette, quantitativi di olio combustibile BTZ tali da soddisfare le esigenze del trasporto marittimo. Per tale ragione lo stesso IMO ha istituito un apposito Expert Group che dovrà valutare la concreta fattibilità di quanto imposto dalla nuova Reg. 14, in particolare per quanto riguarda la percentuale dello 0,5 %.

A questo punto è importante sottolineare quanto espressamente indicato nella Reg. 4, che permette alle Amministrazioni di stati, firmatari della convenzione, di consentire l'utilizzo di qualsiasi tipologia di materiali, installazioni, attrezzature, procedure e combustibili alternativi, purché queste risultino efficaci in termini di riduzione delle emissioni almeno tanto quanto gli standard contenuti nelle varie regole dell'Annesso VI.

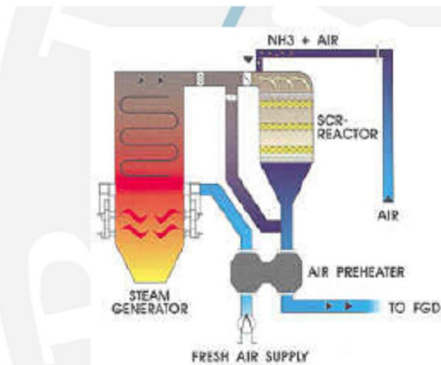
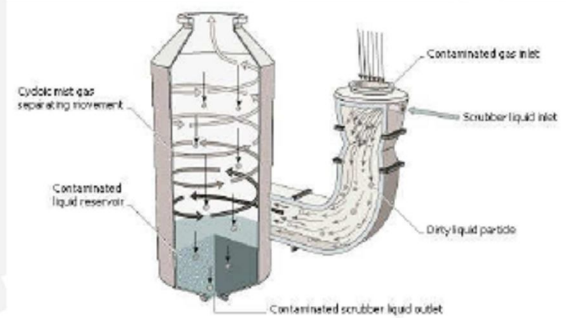
Equivalenze (Reg 4)

Possibili alternative agli standards del nuovo Annesso VI

1. Sistemi di abbattimento
 - Scrubbers (SO_x)
 - Selective Catalytic reduction (NO_x)
2. Utilizzo di combustibili alternativi
3.



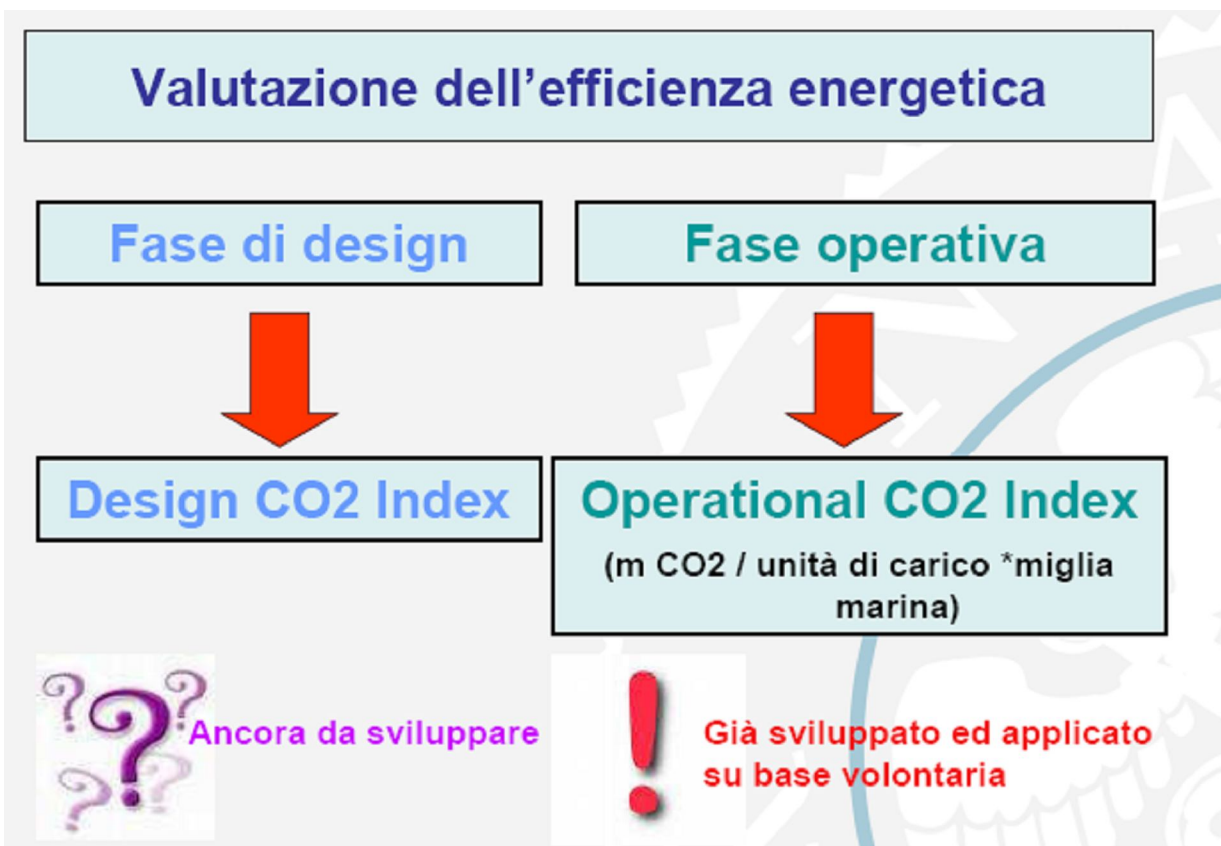
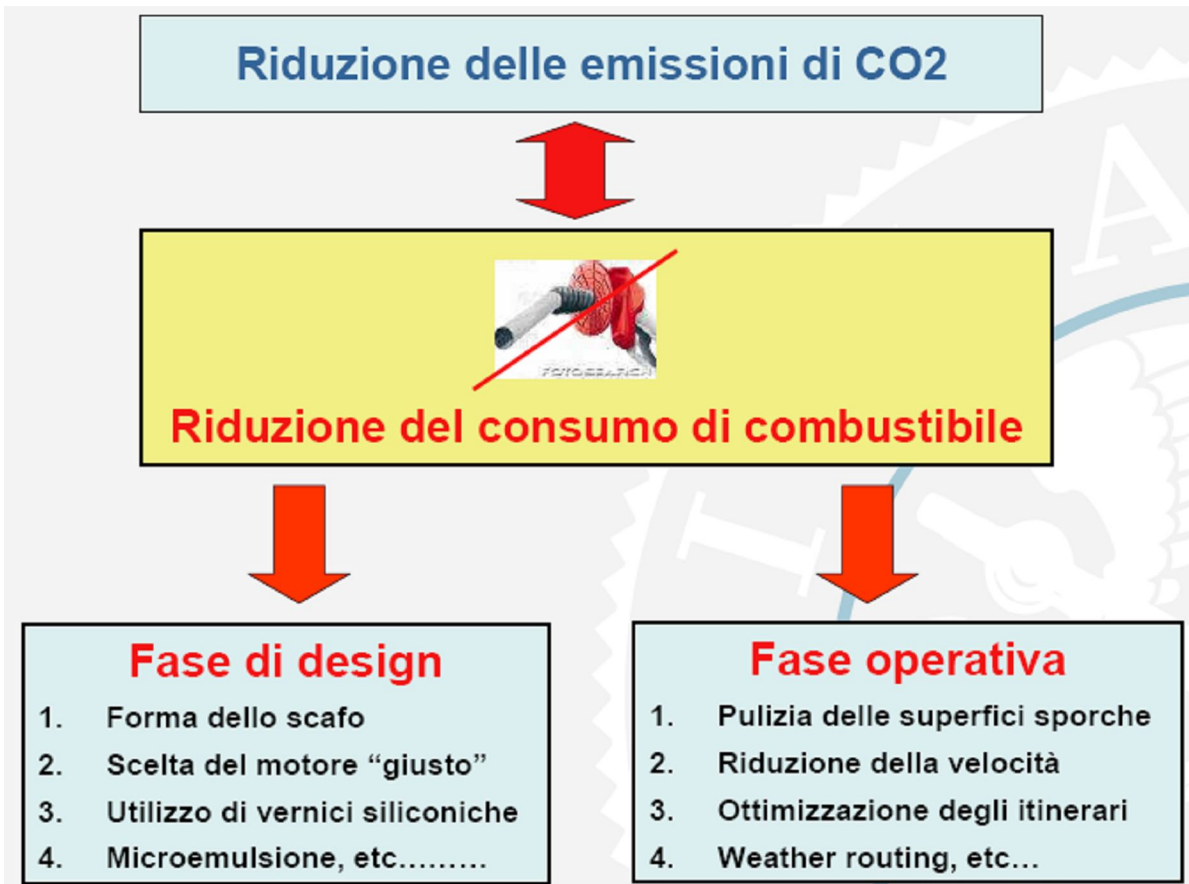
**Equivalenti in termini di
riduzione delle emissioni**



Risultato di tale possibilità sono in particolare due possibili dispositivi di abbattimento delle emissioni, gli SCR (Selective Catalytic Reduction) per gli NO_x, e gli Scrubbers per gli SO_x, di cui si farà cenno nel corso della presente memoria. Tali impianti vengono ad avere sempre più importanza, fatti salvi i principi di efficienza e di convenienza economica, in vista di un aumento percentuale dell'inquinamento da parte dei vettori marini con un raggiungimento della parità con i vettori terrestri nel 2020 (era solo il 30 % nel 2000) e della necessità di intervenire anche su motori esistenti, come già prospettato e indicato dalle nuove regole in discussione.

Inserire torta pag 16 fig 2.2.2

Fino a questo punto si è parlato solo di normative contenute nell'Annesso VI in sede IMO; ma presso la stessa sede sono in corso studi su come dotare lo shipping internazionale di strumenti atti a ridurre il volume della CO₂ emessa dalle navi, come gas partecipante, assieme ai clorofluorocarburi, al metano, all'ossido di azoto e all'ozono troposferico, all'aumento del fenomeno denominato "effetto serra", consistente nella capacità che hanno questi gas ad assorbire il calore che, irradiato sulla superficie terrestre, tenderebbe a sfuggire poi verso lo spazio. Basta considerare che per la CO₂, che è il principale "gas serra", l'80% della sua produzione proviene dalla combustione del carbone, del petrolio e del metano, cioè dalla attività delle centrali elettriche, dai fumi delle industrie, dagli scarichi dei motori a combustione interna. L'obiettivo è quello di arrivare entro la fine del 2009 alla adozione di uno strumento prescrittivo per la riduzione di gas serra da parte delle navi e alla adozione di misure finalizzate alla riduzione del consumo di combustibile, e conseguentemente delle emissioni.



Per raggiungere questi due importanti obiettivi l' IMO, attraverso il MEPC, sta lavorando alla realizzazione di due differenti indici di emissione. Il primo, denominato "Energy Efficiency Design Index" è relativo alla fase di progetto delle navi; il secondo, denominato "CO2 Operational Index" è

relativo alla fase operativa. I due indici dovrebbero fornire indicazioni importanti per modificare il progetto delle navi sulla base del rapporto tra costi ambientali (emissioni di CO₂) e benefici arrecati alla società (capacità di carico moltiplicata per la distanza percorsa), in base a valutazioni sulla reale efficienza delle navi e al loro tipo, in modo da poter avere uno strumento prescrittivo valido ma non penalizzante per certi tipi di navi. Una prima versione dell'indice di efficienza è stato presentato e discusso nella sessione del MEPC a Oslo nel giugno 2008, ed affinato dal MEPC 58 a Londra nell'ottobre 2008, cioè in tempi assai recenti, ed è tuttora in pieno studio e sviluppo. Quando tale normativa entrerà in vigore, e sarà dapprima solo il primo a diventare obbligatorio, le navi, sin dal loro progetto, dovranno rispondere a tale indice per poter avere poi la autorizzazione a navigare.

Il Parlamento Europeo, indipendentemente dall'IMO, ha a sua volta emesso delle normative intese a ridurre le emissioni di inquinanti nell'atmosfera, e in particolare quello provocato dall'anidride solforosa derivante dal trasporto marittimo, con l'adozione di direttive che regolamentano il tenore di zolfo nei combustibili marini, sovrapponendosi in qualche modo alla MARPOL. La direttiva 1999/32 CE è stata modificata dalla più recente 2005/32/CE, che limita come segue i valori massimi del contenuto di zolfo nei vari combustibili entro i territori e le acque territoriali della UE :

- gasolio marino, già con valore massimo dello 0,2%, ridotto allo 0,1 a partire dal 1 gennaio 2008
- olii combustibili pesanti 4,5 % in massa
- olii combustibili pesanti per navi da passeggeri 1,5 %
- zone SECA europee (Mar Baltico, Mare del Nord e Canale della Manica) 1,5%

valevoli per tutte le navi, anche quelle non battenti bandiera degli stati comunitari, con facoltà comunque di poter impiegare tecnologie alternative in grado di ottenere gli stessi risultati in tema di riduzione delle emissioni.

A questo punto diventa necessario introdurre il concetto e la spiegazione sommaria degli impianti di retrofitting, già evidenziati dalle Regole dell'Annesso VI e resi quasi obbligatori da molteplici ragioni, quali il costo eccessivo dei combustibili depurati di zolfo e la possibilità di impiego anche su navi esistenti, con motori non adeguati alle recenti normative.

Il riferimento quasi obbligato diventa quanto già realizzato in campo terrestre per i motori a benzina, dove con i sistemi catalitici, le famose marmitte catalitiche a tre vie, è stato possibile ridurre e quasi azzerare le emissioni di CO, idrocarburi incombusti o parzialmente combusti e ossidi di azoto. Lo zolfo non è praticamente presente nei carburanti per tali motori, e tutto il sistema si riduce a dispositivi di piccolo volume e peso con risultati molto soddisfacenti. Si deve però notare che le possibilità di abbattere le emissioni di NO_x diminuiscono rapidamente al crescere dell'eccesso d'aria, e ciò pone già in risalto il fatto che tali marmitte sono meno utili per i motori diesel; inoltre la riduzione degli SO_x diventa problematica con il sistema suddetto, che anzi va in crisi in presenza di solfati, per cui attualmente nei motori terrestri la riduzione dello zolfo è direttamente collegata alla sua presenza nei combustibili, e il legislatore ha già diminuito, dal 1 gennaio 2009 tale tenore allo 0,0001 %, ben lontani dai valori dei combustibili marini. Anche la riduzione del Particolato, costituito da particelle di materiale organico o carbone granitico, è possibile, in via di principio, a seguito della sua ossidazione ad alta temperatura (sopra i 600°), cosa non attuabile nei gas di scarico dei motori del trasporto terrestre, e l'adozione di filtri pre-catalizzatori non ha ancora trovato finora pratica realizzazione. Il sistema più usato è quello di filtri speciali per particolato (DPF), a base di ceramica porosa rigenerabile termicamente, oppure cambiabile periodicamente e smaltibile come rifiuto speciale.

Nel campo marino le condizioni variano in modo notevole, e poi si tratta comunque sempre di motori diesel, e quanto accennato per il campo terrestre va seguito solo per confronto tecnico.

Nei combustibili marini, attualmente il tenore medio di zolfo è circa il 2,7 % , e anche se la tendenza è quella di ridurre sensibilmente tale tenore, si pone in evidenza il fatto che tali

combustibili, per la loro stessa origine e distillazione, sono soggetti ad avere valori tuttavia elevati di tale elemento, ed è stato calcolato che un combustibile avente un contenuto di zolfo pari o minore dello 1% abbia un costo pari al doppio di uno ad alto tenore di zolfo, con conseguenze molto sensibili sui costi di gestione.

Differenza di livelli di emissioni, combustibili, tenore di zolfo, condizioni tipiche di bordo delle navi, molti fattori comportano il risultato che, pure trattandosi in linea di principio degli stessi inquinanti, le tecnologie utilizzate nel settore dei trasporti terrestri non sono direttamente applicabili ai motori marini. Così per i motori delle navi si è fatto riferimento piuttosto a quanto già studiato e realizzato per impianti statici terrestri, come le centrali elettriche.

Abbattimento degli NOx.

La strada principale percorsa dai costruttori di motori marini per tale abbattimento è la modifica del motore stesso, però l'unico sistema tecnologico capace di promuovere l'abbattimento di tali ossidi fino al livello III è quello catalitico, la cosiddetta SCR, che opera in presenza di ammoniaca come agente ossidante dei NOx. Trascurando le reazioni chimiche che sono alla base dei processi di cui trattasi, si deve comprendere come a bordo non sia facile avere ammoniaca, gas di natura pericolosa, e pertanto si usa urea in particolari concentrazioni, con la necessità di volumi maggiori. Questi aumentano ancora di più nelle zone fredde, per il pericolo di congelamento e la successiva necessità di avere un prodotto più diluito. A tutto ciò aggiungiamo il fatto che la velocità dei gas è molto differente nei motori marini, e tutti questi fattori assieme comportano un sensibile aumento dei volumi dei suddetti impianti. Resta tuttavia valido il concetto che la SCR è l'unico sistema veramente affidabile e facilmente realizzabile.

Abbattimento degli SOx e dei Particolati.

A differenza dei motori terrestri dove lo zolfo non viene neppure preso in considerazione, a causa dei bassissimi livelli di contenuto nei carburanti e combustibili, nel campo marino esso assume una grande importanza per via delle percentuali molto più elevate. Si deve notare inoltre che lo zolfo agisce anche come lubrificante, e la sua eliminazione pone anche qualche problema tecnico, e anche gli olii usati per tali motori contengono additivi basici che reagiscono in modo particolare con i composti dello zolfo. Sia la legislazione IMO che quella europea prevedono di poter usare combustibili ATZ anche nelle SECA, purché si abbiano impianti che abbattano gli inquinanti al livello richiesto, e ciò comporta un serio interesse economico a sviluppare tali sistemi.

Un efficace sistema sarebbe quello catalitico Claus che viene adoperato industrialmente durante l'estrazione di petrolio, ma l'impiego dell'acido solfidrico quale catalizzatore nel processo di riduzione degli ossidi di zolfo non trova pratica attuazione a bordo di navi. E il sistema più studiato e più attuabile sembra, allo stato attuale, quello mediante Scrubbers, che consiste nel lavaggio in contro corrente dei gas di scarico in una torre a piatti, e dove il liquido di lavaggio è la stessa acqua di mare. Da notare che, dal punto di vista chimico, la presenza di carbonati nell'acqua di mare agisce da tampone in grado di assorbire gli ossidi di zolfo, e che il composto SO₄ non è considerato inquinante per la stessa acqua di mare. E tuttavia necessario controllare accuratamente il PH dello scarico a mare, e la cosa può essere risolta con l'uso di quantità maggiori di acqua e, ancora meglio, con l'impiego in circuito chiuso e l'aggiunta di calcio o sodio con formazione di fanghi più concentrati, da smaltire poi opportunamente. I volumi necessari per un impianto del genere sono abbastanza elevati, ma tutto il ciclo si presta ad essere affinato e realizzato in termini di grande interesse tecnologico e commerciale.

Per quanto riguarda il particolato, il suo abbattimento tramite filtri DPF appare di scarso interesse sotto tutti i punti di vista. Molto più promettenti appaiono invece i sistemi a base di tubi Venturi o a ciclone utilizzati nei processi di abbattimento degli SOx. Va ancora osservato che anche i sistemi SCR producono un certo abbattimento del particolato.

Da questa prima trattazione teorica sommaria si può passare a considerare brevemente quali sono i sistemi effettivamente allo studio per arrivare agli abbattimenti degli inquinanti richiesti dalle attuali o future normative.

Un primo sistema è quello denominato ECOMOS, che è in realtà un progetto portato avanti da vari soggetti, tra i quali Fincantieri CNI, CETENA, Rete Autostrade del Mediterraneo, e poi i Dipartimenti di Bio-ingegneria dell'Università di Genova, RINA, l'istituto motori del CNR, ancora nel 2005 e poi giudicato idoneo al finanziamento dal Ministero dell'Università e della Ricerca nel 2006. Il progetto si propone lo scopo di sperimentare tecnologie innovative al fine di ottenere un sistema integrato di impianto di lavaggio ad acqua di mare (scrubber) con sistemi catalitici in modo da poter rispettare non solo le attuali normative ma anche quelle prevedibili future, cercando di intervenire il meno possibile sui motori, di poter essere installati anche su navi esistenti e di avere un buon rapporto tra benefici e costi di installazione.

I risultati indicati come target sono riduzioni dei gas inquinanti dell'ordine sotto riportato :

80 % per SO_x

90 % per NO_x

80 % per PM

All'interno del progetto è prevista una vasta campagna sperimentale, con l'applicazione ad un motore di 2,2 MW di potenza (Isotta Fraschini VL1716 T2 ME), con caratteristiche tali da renderlo immediatamente trasferibile a bordo, pure se tutto studiato e sperimentato a terra. Tale progetto è attualmente in esecuzione presso lo stabilimento Fincantieri del Muggiano.

Per tutti i problemi sopra esposti, si è reso necessario eseguire i vari trattamenti in diverse sezioni dell'impianto, che riassumiamo nel seguente ordine :

- Sezione di trattamento NO_x - con un sistema catalitico ad alta temperatura
- Sezione di rimozione particolato - con un impianto costituito da tre elementi interagenti in cascata, e cioè un primo raffreddatore ad acqua, un particolare scrubber a tubo Venturi a sezione di gola variabile capace di separare il particolato dal liquido, un separatore ciclonico all'uscita del Venturi
- Sezione di rimozione SO_x - che in realtà assorbe NO_x e SO_x mediante una torre di lavaggio a piatti, cioè un ulteriore scrubber ad acqua di mare
- Sezione post-trattamento reflui 1 - per separare il fango contenente il particolato e l'acqua, per riutilizzare l'una e conservare per la successiva scarica l'altro
- Sezione post-trattamento reflui 2 - dove vengono trattati i sali di zolfo e di azoto ottenuti nel processo di rimozione, e che, opportunamente ossidati, regolati del PH e raffreddati vengono riversati in mare.

La descrizione delle sezioni sopra effettuata corrisponde anche all'effettivo ordine di posizionamento all'uscita dei gas di scarico, per tutta una serie di ragioni legate alla temperatura, allo stato degli stessi gas e alle reazioni chimiche e fisiche che si vuole realizzare. Però tutto l'impianto interagisce tra le varie sezioni e costituisce un sistema integrato ed efficace, pure se non privo di problematiche di vario tipo.

Una idea delle dimensioni, per il motore suddetto, la possono dare la seconda e la terza sezione, costituite da involucri aventi lato di base tra 1000 e 1200 mm e rispettivamente altezza di 1800 e 2700 mm.

Al predetto progetto Fincantieri si è associata anche la soc. Wartsila, per studiare delle soluzioni analoghe o alternative per i suoi motori, e tali studi hanno portato ad interessanti soluzioni, ancora da affinare e sperimentare adeguatamente, per vari motori e in particolare per il 12V46 da 12,6 MW, con l'impiego di reattori catalitici col reagente urea, che dimostrano buone capacità di abbattimento degli inquinanti ma con il superamento di alcune difficoltà aggiuntive e la necessità di spazi non limitati, tenendo conto che il solo reattore catalitico ha dimensioni circa 3000 x 3000 x 6800 mm. Comunque le soluzioni alternative proposte e in fase di studio avanzato sono essenzialmente due :

- soluzione 1 - comprendente le seguenti sezioni :
 - per l'abbattimento degli NO_x tramite SCR con iniezione controllata di urea
 - per la rimozione di SO_x e anche di particolato, quest'ultimo in funzione della sua granulometria, con torre di lavaggio a piatti

- per il trattamento dei reflui
- soluzione 2 - comprendenti le seguenti sezioni e con limitatissimi risultati sugli SOx :
 - per la rimozione degli NOx tramite SCR con iniezione controllata di urea
 - per la rimozione di particolato tramite tubo Venturi a scrubber con acqua di mare
 - per il trattamento dei reflui.

Le difficoltà esistono ancora ma la possibilità di operare con sistemi integrati come variamente descritto, in modo da ottenere risultati completi e soddisfacenti da un forte impulso al proseguire degli studi e delle esperienze per arrivare alla sistemazione a bordo di impianti innovativi e corrispondenti alle normative internazionali attuali e future. Molto da lavorare ci sarà anche per lo scarico a mare dei reflui, specialmente quando le unità sono in porto, ma la strada sembra ormai chiaramente tracciata.