

Motorizzazioni dei vaporetta

ing. Andrea Debernardi
Polinomia srl

giugno 2002

1. Premessa

La navigazione all'interno della laguna veneziana, e più specificamente del centro storico urbano, riveste connotazioni molto peculiari non soltanto dal punto di vista funzionale, ma anche da quello ambientale. Infatti, all'interno del centro storico, la circolazione acquea raggiunge livelli di densità elevati, che si accompagnano ad un'elevata concentrazione di recettori, alcuni dei quali possono considerarsi particolarmente sensibili.

Tali peculiarità tendono ad assimilare le implicazioni energetiche ed ambientali della circolazione acquea a problematiche di tipo «urbano», più che relative alla navigazione marittima correntemente intesa.

In questo senso, la regolazione delle prestazioni energetiche ed ambientali delle imbarcazioni può rivestire un significato ben più importante di quello, pur non trascurabile, oggi attribuito al controllo delle emissioni della navigazione marittima. Il ruolo giocato dai servizi di trasporto pubblico, nell'ambito della circolazione acquea lagunare, costituisce un elemento di focalizzazione dell'interesse sulla flotta ACTV.

2. Limiti di emissione per motori *diesel* marini

Le emissioni di questo tipo di propulsori sono oggi regolate unicamente dalle convenzioni MARPOL.

In alcuni paesi, la limitazione dei parametri di emissione unitaria è legata ad accordi volontari; per esempio in Svezia nel 1996 il governo e gli armatori hanno definito un accordo per portare le emissioni di NOx al di sotto dei 12 g/kWh nel giro di cinque anni.

Negli Stati Uniti, a seguito del Clean Air Act, l'EPA sta introducendo limiti di emissione variabili fra 10 e 17 g/kWh per gli NOx, e fra 0,2 e 0,5 g/kWh per il particolato. Questi standard verranno applicati a partire dal 2004 – 2007 [8].

A livello europeo, i primi passi per la regolazione delle emissioni delle fonti mobili non stradali sono stati mossi con la direttiva 97/68. I limiti definiti da tale direttiva, tuttavia, non riguardano le imbarcazioni. Il tema è ancora oggetto di studi, attualmente all'esame della Commissione [7].

3. Limiti di emissione per motori *diesel* terrestri

Del tutto differente è la situazione relativa ai motori *diesel* industriali utilizzati per autotrazione, per i quali, a partire dal 1988, sono state introdotte limitazioni più volte aggiornate.

A questo proposito, va ricordato in particolare il regolamento ECE 91/542, applicato in due fasi: l'euro 1 (ottobre 1992) ed euro 2 (ottobre 1995). Un ulteriore *step* normativo – denominato euro 3 –

è entrato in vigore nell'ottobre 2000. E' inoltre prevista l'introduzione delle norme euro 4 (2005) ed euro 5 (2008).

La tabella seguente indica i valori-limite di emissione corrispondenti ai diversi *step*. Come si osserva, se nel passato le maggiori limitazioni hanno investito le emissioni di monossido di carbonio (CO), nei prossimi anni i maggiori sforzi dovranno essere indirizzati sulle emissioni di ossidi di azoto (NOx) e di particolato (PM).

Valori-limite di emissione				
Norma	g/kWh			
	CO	NOx	PM	HC
Euro 0	11,2	14,1	0,70	2,45
Euro 1	4,9	9,0	0,40	1,23
Euro 2	4,0	7,0	0,15	1,10
Euro 3	2,1	5,0	0,10	0,66
Euro 4	1,5	3,5	0,02	0,46
Euro 5	1,5	2,0	0,02	0,46

CO = monossido di carbonio

NOx = ossidi di azoto

PM = particolato

HC = idrocarburi incombusti

Tali sforzi partono da una base di generalizzata adozione di sistemi di iniezione elettronica – opzione fondamentale per il rispetto dei limiti euro 3. Si prevede che in futuro vengano sviluppati sistemi di iniezione ad alta pressione mediante pompe singole (PLD), common rail (CR) od iniettori-pompa (PDE).

E' inoltre assolutamente probabile che il rispetto delle norme euro 4 ed euro 5 richiederà anche dispositivi per il post-trattamento dei gas di scarico.

Le linee di sviluppo tecnologico che al momento appaiono più promettenti sul versante della contestuale riduzione di NOx e PM sono due [4]:

- agire sulla pressione di iniezione e contemporaneamente introdurre un catalizzatore per il PM ed un catalizzatore selettivo per gli NOx;
- introdurre sistemi di ricircolo dei gas di scarico (EGR) aumentando la pressione di iniezione e prevedendo la trappola di particolato.

4. Prestazioni energetiche ed ambientali delle tecnologie in uso

Prescindendo dalle avanzate esperienze prototipali di trazione ibrida, sviluppate proprio a Venezia (progetto LIUTO), la navigazione marittima resta affidata in larga misura a motori diesel entrobordo, singoli od in coppia [1].

La prima tabella riportata nella pagina seguente contiene un riepilogo delle principali caratteristiche tecniche di una delle più diffuse gamme di motori marini (Iveco-AIFO) [2]. Come si osserva, le potenze installate variano considerevolmente – da 42 ad oltre 600 kW, con cilindrata variabili dai 2,9 ai 25,8 litri. I motori dei vaporetto si collocano nella fascia intermedia (potenze comprese fra 100 e 200 kW).

La seconda tabella riporta invece le caratteristiche tecniche dei soli motori commercializzati negli USA, e rispondenti alle nuove norme EPA. Si tratta in sostanza dei motori di gamma bassa di potenza, che presentano consumi unitari dell'ordine dei 100 grammi di gasolio per kWh erogato.

Motore	cilindri	alimentazione	cilindrata litri	potenza netta al volano kW (CV) @ RPM		
				light duty	medium duty	heavy duty
8035M06	3L	A	2,9			42 (57) @ 2500
8045M08	4L	A	3,9		59 (80) @ 2500	56 (76) @ 2500
8040SRM16	4L	TC	3,9	100 (136) @ 2700	85 (115) @ 2500	75 (102) @ 2100
8065M12	6L	A	5,9		85 (115) @ 2500	81 (110) @ 2500
8060SM21	6L	TC	5,9	125 (170) @ 2700	118 (160) @ 2500	96 (130) @ 2300
8361SM21	6L	TC	8,1	154 (210) @ 2200	140 (190) @ 2200	129 (175) @ 2000
8460SM19	6L	TC	9,5		162 (220) @ 2200	140 (190) @ 2200
8460SRM28	6L	TC	9,5			206 (280) @ 2200
8210M22	6L	A	13,8			162 (220) @ 2200
8210SRM36	6L	TC	13,8		265 (360) @ 1800	243 (330) @ 1800
8210SRM45	6L	TC	13,8		331 (450) @ 1800	294 (400) @ 1800
8281M32	8V	A	17,2		235 (320) @ 2200	206 (280) @ 2100
8281SRM50	8V	TC	17,2		404 (550) @ 1800	368 (500) @ 1800
8291SRM75	12V	TC	25,8			551 (750) @ 1800
8291SRM85	12V	TC	25,8		625 (850) @ 2000	

Caratteristiche tecniche motori AIFO commercializzati negli USA									
Motore	8035U	8045U	7450U	7450SU	8045SU	8065U	7675U	7675SU	8065SU
giri/min	2500	2500	2200	2100	2300	2500	2100	2100	2300
potenza continua (kW)	38	51	60	73	73	74	82	104	109
cilindri	3	4	4	4	4	6	6	6	6
rapp.compressione	17:1	17:1	17,5:1	17,5:1	16,5:1	17:1	17,5:1	17,5:1	16,5:1
cilindrata	2,9	3,9	5	5	3,9	5,9	7,5	7,5	5,9
iniezione	diretta	diretta	diretta	diretta	diretta	diretta	diretta	diretta	diretta
aspirazione	naturale	naturale	naturale	turbo	turbo	naturale	naturale	turbo	turbo
consumo* (g/h)	375	507	661	771	727	705	904	1.190	1.102

* a 1.800 giri/min

Questi valori possono essere confrontati con quelli di alcuni motori per autotrazione, già rispondenti alle norme euro 3 (cfr.tabella seguente). Come si osserva, si tratta di norma di propulsori di differente impostazione – con potenze, a parità di cilindrata, più che doppie rispetto a quelle dei motori marini, e consumi unitari (g/kWh) più elevati del 50÷70%. Ovviamente, ciò deriva dalla necessità di assicurare una buona funzionalità del propulsore a regimi assai più variabili che nel caso della navigazione.

Va tuttavia evidenziato che i motori per autotrazione si caratterizzano oggi per emissioni di inquinanti atmosferici pari a circa 1/3 di quelle dei motori marini. Non appare dunque fuori luogo interrogarsi sull'eventualità di sperimentazione, sulla flotta ACTV, di propulsori di derivazione terrestre, opportunamente adattati alle necessità della navigazione lagunare.

Caratteristiche tecniche di alcuni motori diesel per autotrazione							
Caratteristiche	DAF XE390C	Mercedes OM502LA	IVECO Cursor 13	Renault E-Tech	Mercedes OM 904 LA	Mercedes OM 904 LA	Volvo D6B220
cilindri	6L	8V	6L	6L	4L	4L	6L
alimentazione	turbo	turbo	turbo	turbo	turbo	turbo	turbo
cilindrata (cm³)	12.580	15.928	12.880	12.024	4.250	6.370	5.480
potenza (kW)	390	390	353	353	125	170	162
a giri/min.	1900	1800	1540-1900	1.900	2300	2300	2400
consumo (g/kWh)*	170,5	169,6	187,5	167,4	203,6	187,1	142,2
potenza assorbita (kW)*	76,5	85,2	71,9	92,4	44,1	59,9	59,9

* determinati in prove su strada (autoarticolati) - velocità costante di 80 km/h

5. Costi

Secondo uno studio effettuato dall'EPA, il miglioramento di efficienza dei motori marini, reso necessario dall'entrata in vigore delle nuove regolazioni federali, comporterà un incremento dei costi di produzione dei motori compreso fra il 3 ed il 6%.

Tali sovracosti possono essere in parte recuperati attraverso i risparmi ottenuti nei consumi di carburante (anche se va osservato che l'utilizzo di un diverso tipo di carburante è a sua volta fonte di un aggravio di costi).

Per quanto concerne l'adozione di motori per autotrazione, i sovracosti potrebbero essere superiori – anche se va considerato il vantaggio derivante dall'accesso ad un mercato caratterizzato da elevata competizione e dalla produzione di grande serie.

Riferimenti bibliografici

[1] sito internet <http://www.actv.it/flotta1.htm>

[2] IVECO Aifo – Technical Data Sheet

[3] *Tuttotrasporti*, n.235, dicembre 2001

[4] *Tuttotrasporti*, n.234, novembre 2001

[5] EPA; *Incremental Cost Estimates for Marine Diesel Engine Technology Improvements*; september 1998.

[6] EPA; *Emission Standard for New Marine Diesel Engines*; april 2002.

[7] M.E.Davies et al.; "Study on the Economic, Legal, Environmental and Practical Implications of a European Union System to Reduce Ship Emissions of SO_x and NO_x", Bruxelles, august 2000 (<http://www.europa.eu.int/comm/environment/air/transport.htm#3>)

[8] EPA; *Control of Emissions of Air Pollution from New Compression-Ignition Marine Engines at or above 37 kW* (november 23, 1999).