

# **REALIZZAZIONE DI UN SISTEMA DI CONTROLLO ATTIVO DEL RUMORE ALLO SCARICO DI MOTORI A COMBUSTIONE INTERNA A DUE TEMPI**

**Andrea Nicolini<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup> Dipartimento di Ingegneria Industriale – Facoltà di Ingegneria – Università degli Studi di Perugia - Via G. Duranti, 1/a-4 – 06125 Perugia

## **SOMMARIO**

L'attenuazione dei rumori emessi dagli scarichi degli autoveicoli rappresenta una tappa fondamentale per la riduzione del rumore dovuto al traffico stradale. Nelle marmitte tradizionali l'attenuazione dei rumori è accompagnata da un forte incremento delle perdite di carico nel dispositivo di espulsione dei gas di scarico; pertanto alla riduzione delle emissioni acustiche si contrappone una rilevante differenza di pressione agli estremi del condotto di scarico, con una perdita di potenza del motore e diminuzione del suo rendimento. Una marmitta con controllo attivo del rumore, a differenza delle marmitte passive, non introduce perdite di carico nel condotto di espulsione dei gas. Pertanto, oltre a ridurre il rumore, il controllo attivo potrebbe consentire anche un miglioramento delle prestazioni del motore. Il principio fisico su cui si basa la cancellazione attiva del rumore consiste nella sovrapposizione di onde progressive che, viaggiando nella stessa direzione, con pari ampiezza, ma sfasate di 180°, determinano l'assenza di oscillazioni del mezzo materiale nel quale si propagano. Nel corso della ricerca è stato progettato e sviluppato un prototipo di sistema di controllo attivo del rumore allo scarico di motori a combustione interna per motori a due tempi, per regime di rotazione variabile. Il prototipo, costituito da dispositivi elettroacustici, è equipaggiato con altoparlanti, filtri, amplificatori e sistemi digitali di elaborazione numerica del segnale appositamente studiati per le applicazioni di cui sopra.

## **ABSTRACT**

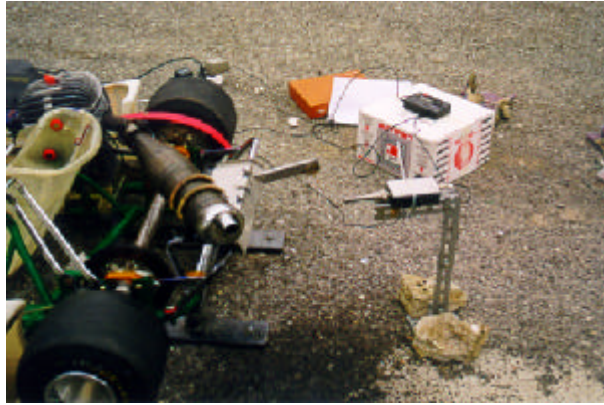
The attenuation of the noises emitted from the exhaust pipes of the motor vehicles represents a fundamental stage for the reduction of the noise due to street traffic. In the traditional pipes, the noise attenuation is accompanied from a great increment of pressure drop in the expulsion device of exhaust gases; therefore, the reduction of the acoustic emissions causes a great difference of pressure to the ends of the exhaust pipe, with one loss of power of the motor and lessening of its rendering. An exhaust pipe with active control of the noise, to difference of the passive ones, does not introduce pressure drop in the expulsion tube of gases. Therefore, beyond reducing the noise, the active control could induce also an improvement of the engine ratings. The physical principle on which the active cancellation of the noise is based consists in the superimposition of progressive waves that, travelling in the same direction, with equal amplitude, but in controphase, determine the absence of oscillations of the elastic medium in which they are propagated. During this work it has been planned and developed a prototype of active noise control system to the drainage of motors to internal combustion for motors to two times, for regimen of variable spin. The prototype, constituted from electro-acoustic devices, is equipped with loudspeakers, filters, amplifiers and signal processing digital systems purposely studied for the applications of which over.

## **1. INTRODUZIONE**

Per la progettazione e la realizzazione del sistema di controllo si è fatto riferimento ad un motore a due tempi di un go-kart. Tale scelta è stata dettata dal fatto che le emissioni acustiche di un go-kart sono caratterizzate da livelli di potenza estremamente elevati e da distribuzioni spettrali rapidamente variabili con il regime di rotazione.

Un sistema di controllo in grado di ridurre le emissioni acustiche di un go-kart dovrà quindi essere dotato di notevoli caratteristiche in termini di velocità, potenza e robustezza. Tale sistema sarà dunque sicuramente adatto anche per applicazioni su motori a due tempi di altro genere.

Il go-kart preso in esame è equipaggiato con motore a due tempi di 100 cm<sup>3</sup>, la potenza massima erogabile dal propulsore è circa 30 Kw, il regime di rotazione massima è 20000 rpm. Questo mezzo ha una trasmissione a presa diretta; ciò significa che la coppia motrice viene trasferita dal pignone all'asse delle ruote posteriori direttamente senza che vi sia né frizione, né un cambio con posizione di folle. Il condotto di scarico originale è costituito da un condotto iniziale, la marmitta ed una flangia finale (vedi figura 1).



*Fig.1 - fotografia del condotto di scarico del go-kart*

E' stata condotta una campagna di misure in ambiente aperto finalizzata alla caratterizzazione del rumore emesso dal go-kart a diversi regimi di rotazione. A tale proposito il go-kart è stato posto su un piano in asfalto che riproduce le comuni condizioni di impiego del mezzo. I rilevamenti dell'emissione rumorosa sono stati condotti seguendo la normativa ISO 5130 del 1982 specifica per il rumore emesso da autoveicoli in stazionamento, la quale impone che il microfono deve essere posto alla distanza di 0.5 m dalla terminazione del tubo di scarico formando con esso un angolo di 45° ad un'altezza dal suolo di almeno 0.2 m.

Il rumore prodotto dal motore del go-kart è stato registrato su nastro DAT a due canali allo scopo di riprodurlo in laboratorio: sul primo è stato inserito il rumore proveniente dal motore e prelevato all'uscita del condotto di scarico grazie al microfono; sul secondo è stato registrato il segnale elettrico prodotto dalla candela.

Il segnale della candela è stato prelevato applicando alla bobina un circuito partitore per ridurre l'ampiezza; infatti, tale segnale ha solitamente un valore picco-picco intorno ai 20 Volts, troppo elevato sia per essere registrato direttamente (il DAT andrebbe in "overflow") sia per essere elaborato dal DSP (provocherebbe saturazioni se non addirittura danneggiamenti della scheda di acquisizione A/D).

## **2. IL BANCO DI PROVA**

Al fine di realizzare e provare il sistema di controllo attivo del rumore applicato al go-kart, è stato realizzato un banco di prova avente lo scopo di riprodurre in laboratorio le emissioni acustiche del motore.

Il banco di prova è costituito da un adattatore di impedenza acustica che collega la marmitta elettronica (vedi Sezione 3) con una cassa acustica nella quale viene generato il rumore del go-kart.

L'adattatore di impedenza è stato realizzato in acciaio Inox utilizzando una lastra di spessore 1 mm (massimo spessore che consente di realizzare la forma conica desiderata); la struttura ottenuta, può essere connessa alla marmitta elettronica, alla cassa acustica e all'altoparlante che invia il segnale di rumore.

Inoltre è stata progettata una cassa acustica chiusa di forma parallelepipedica in acciaio Inox per ridurre l'effetto dell'onda prodotta dall'altoparlante di rumore verso l'esterno.

L'altoparlante è inserito al centro di una faccia della cassa tramite un'apposita flangia. La cassa acustica, riempita al suo interno di materiale fonoassorbente (lana di roccia), è stata poi rinforzata esternamente per limitare le vibrazioni delle sue pareti alle basse frequenze. I vari componenti del sistema banco di prova sono stati poi collegati fra loro utilizzando le flange presenti e isolando acusticamente le giunzioni mediante silicone ad alta temperatura. Il banco di prova è rappresentato nella foto di figura 2.

Per la determinazione delle caratteristiche acustiche del banco di prova sono state eguagliate le impedenze corrispondenti alla tromba conica e al tubo della marmitta così da realizzare un adattamento di impedenza.

Al tubo della marmitta corrisponde un'induttanza di valore

$$L_M = \frac{\rho \cdot l}{S} \quad (1)$$

dove  $\rho$  è la densità dell'aria,  $S$  l'area della sezione del tubo interno ed  $l$  è la sua lunghezza equivalente, uguale alla lunghezza del tratto del tubo dritto (0.5 m) più la lunghezza corrispondente alla curva che lo caratterizza (0.4 m).



*Fig.2 - fotografia del banco di prova*

Per quanto riguarda invece il calcolo dell'impedenza della tromba di forma conica, eguagliando l'energia cinetica totale che caratterizza il tronco di cono all'espressione dell'energia cinetica di un'inertanza, si ottiene che la tromba conica presenta un'impedenza puramente induttiva uguale a:

$$L_c = \frac{\rho}{\sqrt{M}} \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{S_0}} - \frac{1}{\sqrt{S_1}} \right) \quad (2)$$

dove  $S_0$  e  $S_1$  sono le aree delle sezioni estreme del tronco di cono mentre con  $M$  è indicato l'incremento della sezione man mano che ci si allontana dalla sezione iniziale.

Per adattare l'impedenza della tromba conica a quella del tubo della marmitta è necessario ora imporre l'uguaglianza tra le espressioni (1) e (2), ricavando il valore di  $M$  che permette di realizzare un perfetto adattamento. Si ricava che la lunghezza del tronco di cono che produce l'adattamento di impedenza è di 8.35 m, valore troppo elevato per problemi d'ingombro; si è optato quindi per una lunghezza di 1 m per l'adattatore di impedenza, ottenendo un'induttanza per il tronco di cono uguale a circa 0.12 volte quella del tubo della marmitta con una perdita di circa 9.2 dB, che saranno compensati fornendo una maggiore potenza all'altoparlante.

### 3. LA MARMITTA ELETTRONICA

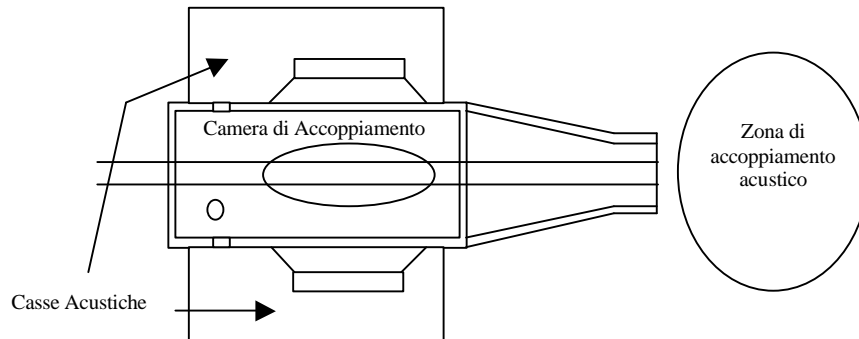
La marmitta elettronica è un dispositivo elettroacustico che viene installato nel condotto di scarico del motore a due tempi; nel caso in esame il condotto di scarico di un go-kart. Lo scopo della marmitta elettronica è la generazione del segnale acustico di antirumore che deve interferire in maniera distruttiva con il rumore del motore proveniente dal condotto di scarico.

A tale proposito la forma e le dimensioni della marmitta elettronica sono tali da formare una cavità attorno al condotto di scarico; tale cavità è rastremata in modo da presentare, in corrispondenza della sezione terminale del condotto di scarico, una sezione coassiale al condotto stesso. Il segnale del rumore fuoriesce dal condotto di scarico, mentre quello dell'antirumore fuoriesce dall'anello coassiale esterno. La generazione del rumore è garantita da quattro altoparlanti alloggiati nel corpo della marmitta elettronica (vedi figura 3), alimentati da un amplificatore comandato dall'unità di controllo (vedi Sezione 4); all'esterno sono state costruite quattro casse acustiche riempite di materiale fonoassorbente che consentono di incrementare l'efficienza degli altoparlanti e di limitare le emissioni verso l'esterno.

Durante le fasi di prova e collaudo la marmitta è stata collegata al banco di prova che simula il comportamento acustico del go-kart. L'installazione definitiva della marmitta elettronica nel condotto di scarico del go-kart sarà effettuata in serie alla marmitta già in dotazione al mezzo e non direttamente al collettore di scarico del motore poiché, come accade in tutti i motori a due tempi, la marmitta in dotazione svolge una funzione non solo acustica di attenuazione del rumore, ma anche necessaria al ciclo di funzionamento del motore

stesso; più precisamente, svolge una funzione simile a quella delle valvole dei motori a quattro tempi ed è pertanto insostituibile.

Il dispositivo è stato realizzato con lamiera in acciaio Inox dello spessore di 4.5 mm; tale valore garantisce un elevato isolamento fra il condotto di propagazione e l'esterno. Per garantire un'ulteriore rigidità, le superfici interne sono state, inoltre, ricoperte di vernice antirombo; tale intervento permette di rendere le lastre di acciaio più rigide grazie al fatto che la vernice forma uno strato di alcuni decimi di millimetro.



*Fig.3 - Alloggiamento degli altoparlanti nella marmitta elettronica*

La forma e le dimensioni del prototipo sono state scelte, oltre che in base a considerazioni di carattere acustico (come per il progetto delle casse dei quattro altoparlanti), anche tenendo conto della temperatura dei gas combusti che, trasmessa per conduzione attraverso le pareti metalliche, una volta giunta nella camera di accoppiamento, potrebbe danneggiare le membrane degli altoparlanti.

Come si può notare dalla foto in figura 4, la parte iniziale del prototipo realizzato è stata dotata di flangia per il collegamento con il condotto di scarico del go-kart (di colore nero) o con il banco di prova.

Sono stati praticati dei fori, del diametro di 8 mm, che mettono in comunicazione il volume delle casse acustiche direttamente con la camera di accoppiamento. Tale intervento permette di aumentare l'efficienza degli altoparlanti stessi poiché si incrementa la cedevolezza del sistema elastico costituito dall'aria e dalla membrana del cono.



*Fig.4 - fotografia della marmitta elettronica collegata al condotto di scarico del go-kart*

La scelta dei quattro altoparlanti impiegati nella marmitta elettronica è stata effettuata in base alle seguenti considerazioni: il sistema di controllo attivo del rumore deve prevedere che la sorgente secondaria generi una potenza uguale a quella primaria. Poiché è stato rilevato all'uscita del tubo di scarico del motore un livello di intensità acustica di circa 102 dB corrispondente ad un valore di intensità uguale a  $0.015 \text{ W/m}^2$ , ed ipotizzando una propagazione di tipo sferica dall'uscita della marmitta al punto di misura, si ricava come potenza della sorgente un valore di 0.188 W. Essendo il rendimento elettrico di un altoparlante generalmente molto piccolo (compreso di solito tra lo 0.2% e il 2%), ipotizzando il caso peggiore di un rendimento dello 0.2%, la potenza nominale richiesta è 94 W. In seguito a queste considerazioni è stata adottata la scelta di quattro altoparlanti ellittici della potenza di 25 W ciascuno.

## 4. UNITA' DI CONTROLLO ED ALGORITMI DI CALCOLO

### 4.1 L'unità di controllo

La marmitta elettronica è il dispositivo elettroacustico che emette il segnale dell'antirumore e provvede all'accoppiamento con il rumore prodotto dal motore. Il segnale dell'antirumore viene generato da un'unità di controllo: il funzionamento dell'unità di controllo è basato su tecniche di elaborazione numerica del segnale; in particolare il segnale della candela del motore viene opportunamente "trattato" in modo che sia minimo il segnale acustico di uscita dalla marmitta elettronica; a tale proposito un microfono (microfono d'errore) verifica l'ampiezza del segnale acustico in uscita alla marmitta stessa.

In figura 5 si riporta lo schema di funzionamento dell'unità di controllo.

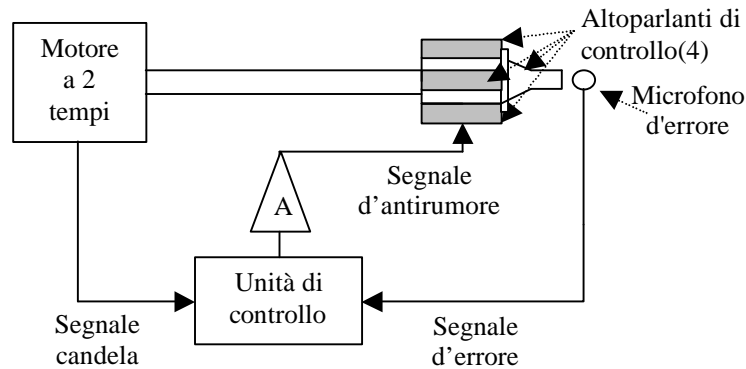


Fig.5 - Schema di funzionamento dell'unità di controllo

Il segnale di antirumore generato dall'unità di controllo viene amplificato mediante un amplificatore lineare di potenza che alimenta gli altoparlanti installati nella marmitta elettronica.

La marmitta elettronica ed il sistema di controllo sono stati testati nel banco di prova descritto in Sezione 2. A tal proposito è stato adottato lo schema sperimentale riportato in figura 6 nel quale sono presenti i seguenti componenti:

- ❑ DAT (Digital Audio Recorder) TCD-D7 della Sony. Il segnale stereo registrato sul nastro è costituito dal segnale elettrico d'accensione della candela su un canale, mentre sull'altro è presente il segnale di rumore da ridurre tramite il sistema utilizzato. Per evitare di dover riavvolgere il nastro all'inizio di ogni prova sperimentale, il segnale registrato è stato trasferito su PC in formato "wav".
- ❑ Amplificatori\_TA-FE710R della Sony: ne sono stati utilizzati due; uno per amplificare il segnale in ingresso alla marmitta elettronica, l'altro per pilotare l'altoparlante che riproduce il rumore del go-kart.
- ❑ L'unità di controllo è costituita da una scheda DSP (Digital Signal Processing) ADSP 2181 a virgola fissa della Analog Devices. La scheda presenta una porta seriale RS-232 che permette la comunicazione con un host computer utilizzando protocolli seriali asincroni. Infine, grazie ad un'opportuna scheda di conversione A/D, è possibile acquisire fino a due segnali elettrici ed elaborarli utilizzando il DSP, per poi permettere, utilizzando una scheda di conversione D/A, di inviare il segnale elettrico di antirumore in uscita.

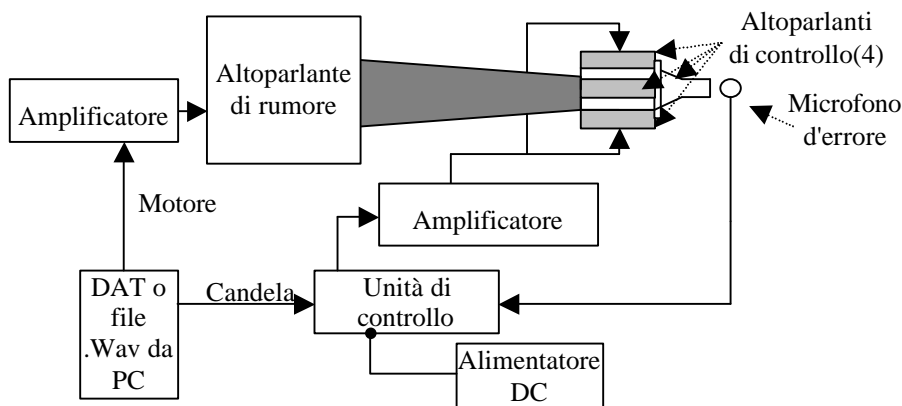


Fig.6 - Schema a blocchi del sistema sperimentale

- ❑ Alimentatore di potenza DC AL 862 (Alpha Elettronica): è un alimentatore duale con limitatore di corrente che permette fornire 9V DC per l'alimentazione della scheda DSP.
- ❑ Preamplificatore microfonico prodotto dalla Mesa, modello R31S.
- ❑ Microfono d'errore a condensatore prodotto dalla RION, modello UC-53A.

#### 4.2 L'algoritmo di controllo

Con riferimento alla figura 7, l'unità di controllo, in generale, è in grado di realizzare il controllo del rumore elaborando un segnale,  $x(n)$ , che è proporzionale al regime di rotazione del motore; questo grazie ad algoritmi adattivi che, in funzione di un segnale d'errore prelevato all'uscita della marmitta,  $e(n)$ , consentono di minimizzare il segnale acustico all'uscita.

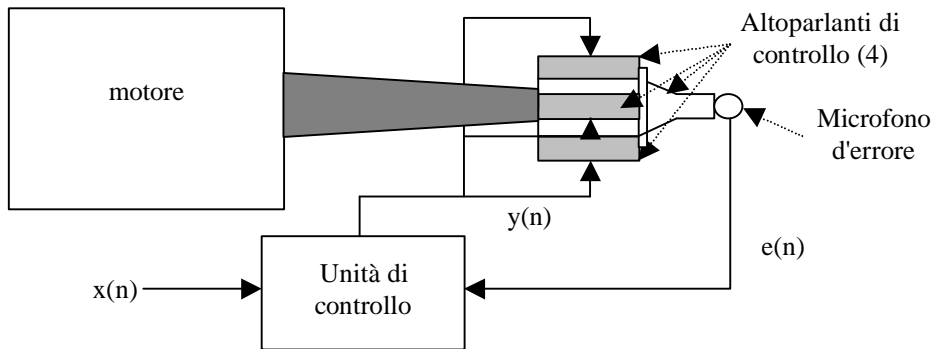


Fig.7 - Schema del banco di prova

Il segnale d'errore  $e(n)$  è dato dalla somma (corrispondente ad una differenza essendo i due segnali teoricamente in controfase) tra il rumore del motore all'uscita della marmitta e il segnale emesso dagli altoparlanti;  $x(n)$  è il rumore prodotto direttamente dal motore prima di percorrere il tubo di scappamento e di miselarsi con quello di antirumore.

In un primo momento si è pensato di utilizzare, come segnale di controllo  $x(n)$ , direttamente il rumore presente all'interno del condotto di scarico prima della marmitta elettronica. Tale soluzione è risultata impraticabile viste le elevatissime temperature presenti nel condotto di scarico; infatti non esistono microfoni in grado di funzionare a tali temperature.

Non essendo possibile prelevare il segnale di rumore  $x(n)$  neanche all'uscita della marmitta elettronica essendo in quel punto già miselato con quello di antirumore, è stato scelto come segnale in ingresso al controllore ANC quello generato dalla candela, il quale presenta armoniche alla stessa frequenza di quelle del motore aventi però fase ed ampiezza differenti da quest'ultimo. Di conseguenza, gli altoparlanti di controllo devono emettere un segnale di frequenza uguale a quella della candela, ma con diverse fase ed ampiezza tali che il rumore all'uscita della marmitta sia minimo.

L'algoritmo utilizzato si basa sulla teoria dei filtri adattivi e può essere rappresentato con lo schema a blocchi di figura 8, dove con  $x(n)$  è indicato il segnale di rumore da eliminare, con  $c(n)$  un segnale di riferimento strettamente correlato con  $x(n)$ , con  $e(n)$  il segnale di errore e con  $y'(n)$  il segnale di antirumore.

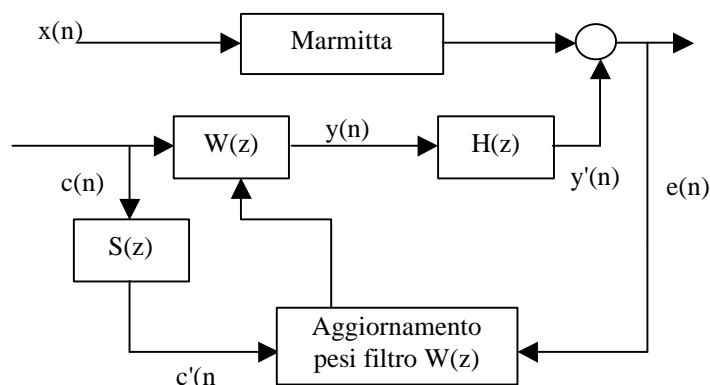


Fig.8 - Schema a blocchi dell'algoritmo di controllo

La scheda DSP utilizza due segnali di ingresso (uno di riferimento, strettamente correlato al rumore da eliminare, ed uno di errore, prelevato utilizzando un microfono all'uscita della marmitta elettronica); il segnale di uscita, ossia l'antirumore, è ottenuto facendo passare il segnale di riferimento attraverso un filtro FIR  $W(z)$ , i cui pesi sono aggiornati ad ogni intervallo di campionamento della scheda DSP attraverso un algoritmo adattivo.

Nel caso trattato, l'aggiornamento avviene utilizzando un algoritmo di tipo FxLMS: esso opera aggiungendo al valore corrente dei pesi del filtro una piccola percentuale dell'errore valutato attraverso il microfono, calcolando così in tempo reale il set migliore dei pesi del filtro. La relazione matematica utilizzata per l'aggiornamento dei coefficienti del filtro può essere espressa come segue:

$$\underline{w}(n+1) = \underline{w}(n) + \mu \cdot e(n) \cdot \underline{c}'(n) \quad (3)$$

dove  $\mu$  è un numero positivo, denominato coefficiente di convergenza, che definisce la porzione del coefficiente d'errore da sommare.

Poiché l'algoritmo adattivo è digitale, intervengono degli errori di quantizzazione che possono provocare un notevole aumento, in ampiezza, dei pesi dei filtri; tali valori possono divenire più grandi del massimo valore permesso dal sistema digitale, con conseguente instabilità del sistema stesso. Per risolvere questo problema si introduce un coefficiente di perdita che opera rimuovendo una piccola porzione dei valori correnti dei pesi ogni volta che essi vengono di nuovo calcolati. Dal punto di vista matematico, l'algoritmo risulta così modificato:

$$\underline{w}(n+1) = \underline{w}(n) \cdot (1 - \mu \cdot \alpha) + \mu \cdot e(n) \cdot \underline{c}'(n) \quad (4)$$

dove  $\alpha$ , denominato coefficiente di perdita, è un numero positivo piccolo.

Infine, si è tenuto conto del fatto che il segnale di antirumore prodotto dal DSP, prima di sommarsi al segnale di rumore in uscita alla marmitta elettronica, attraversa un percorso secondario costituito da un insieme di "ostacoli", tra i quali i convertitori D/A della scheda DSP, amplificatori, altoparlanti, il tutto modellabile attraverso una funzione di trasferimento  $H(z)$ .

E' allora necessario determinare tale funzione di trasferimento on-line in modo da valutare ogni sua possibile variazione. Lo schema a blocchi utilizzato a questo scopo è rappresentato in figura 9; si può notare come è stato utilizzato lo stesso segnale di riferimento per valutare la funzione  $S(z)$ , usata per filtrare il segnale  $c(n)$  impiegato per l'aggiornamento dei coefficienti del filtro  $W(z)$ . Anche per il calcolo della funzione di trasferimento del percorso secondario è utilizzato l'algoritmo adattivo LMS. L'algoritmo nella sua totalità è dunque di tipo FxLMS.

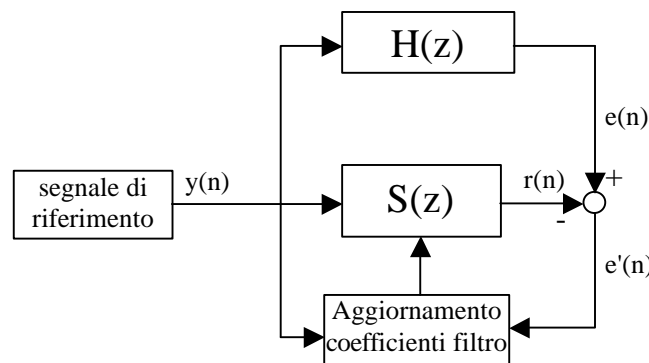


Fig.9 - Schema a blocchi per il calcolo della funzione di trasferimento del percorso secondario

## 5. RISULTATI

E' stata condotta infine una campagna di misure fonometriche per valutare la riduzione del livello di rumore all'uscita dalla marmitta elettronica ottenuta implementando su DSP, in linguaggio C, l'algoritmo precedentemente descritto. La campagna di misure è stata effettuata posizionando il fonometro ad una distanza pari a 50 cm dall'uscita della marmitta elettronica e a 45° dal suo asse centrale, come previsto dalla norma ISO 5130 del 1982.

Per stimare l'effetto del sistema di controllo nelle varie bande di frequenze, è stato utilizzata, come segnale di riferimento, un'onda sinusoidale prodotta da un generatore di funzioni; variando la frequenza generata per bande di ottava, è stato possibile esaminare il comportamento del sistema in tutta la banda di interesse.

Sono stati confrontati fra loro il livello equivalente continuo ponderato A e quello lineare ottenuti con il

sistema di controllo acceso e spento; tale procedura è stata effettuata sulla banda di frequenze da 63 Hz fino a 4000 Hz. In Tabella 1 sono riportati i livelli equivalenti ponderati A e lineari ottenuti alle varie frequenze, mentre in Tabella 2 è evidenziata la riduzione di livello di rumore ottenuta.

Frequenza onda sinusoidale (Hz)	Senza Controllo		Con Controllo	
	LAeq (livello equivalente ponderato A - dBA)	LLeq (livello equivalente lineare - dB)	LAeq (livello equivalente ponderato A - dBA)	LLeq (livello equivalente lineare - dB)
63	59.7	84.9	59.0	84.2
125	59.1	74.8	56.7	71.9
250	69.7	78.2	66.7	75.4
500	68.6	72.7	53.9	67.5
1000	79.2	79.2	77.0	77.7
2000	74.9	74.5	57.1	65.9
4000	64.2	68.0	63.8	67.8

*Tab.1 - livelli equivalenti misurati*

Frequenza onda sinusoidale (Hz)	Riduzione LAeq ottenuta (dBA)	Riduzione LLeq ottenuta (dB)
63	0.7	0.7
125	2.4	2.9
250	3.0	2.8
500	14.7	5.2
1000	2.2	1.5
2000	17.8	8.6
4000	0.4	0.2

*Tab.2 - riduzioni dei livelli equivalenti misurati*

Dalle tabelle precedenti, si nota che il sistema di controllo garantisce riduzioni del livello equivalente ponderato A fino a 17 dBA circa; esistono frequenze in cui il sistema, a causa di particolari risonanze, agisce con minore efficacia (come a 1000 Hz). In generale, si sono rilevate buone prestazioni nella banda tra 125 e 2000 Hz; al di sotto dei 125 Hz, subentrano problemi di riproduzione del segnale di antirumore da parte degli altoparlanti di controllo, mentre, al di sopra dei 2000 Hz, il sistema non riesce più ad inseguire fedelmente le rapide variazioni del segnale di rumore.

Effettuando alcune misure fonometriche proprio in corrispondenza dell'uscita della marmitta elettronica, si è ottenuta una riduzione di livello di rumore variante tra i 20 ed i 30 dBA nella banda di interesse, evidenziando un comportamento notevolmente migliore di quello registrato a 50 cm dall'uscita.

## 6. CONCLUSIONI

Lo scopo di questa ricerca è quello di dimostrare l'applicabilità di un sistema di controllo attivo del rumore allo scarico di motori a combustione interna al fine di fornire un contributo notevole alla riduzione del rumore dovuto al traffico stradale. L'attività ha previsto il progetto meccanico, la verifica teorica delle prestazioni acustiche ed infine la realizzazione di un prototipo funzionante di marmitta elettronica applicata al condotto di scarico di un go-kart, che rappresenta il caso estremo in termini di entità di rumore prodotto e variazioni di regime nel caso di motori a due tempi.

Nello svolgimento della ricerca, è stata individuata un'unità di controllo costituita da un DSP (Digital Signal Processing) e sono stati implementati algoritmi di calcolo in grado di generare il segnale di antirumore sulla base di un segnale di sincronismo fornito dalla candela del go-kart e di un segnale di errore opportunamente prelevato da un microfono.

L'unità di controllo e la marmitta elettronica sono stati collegati e testati mediante l'impiego di un banco di prova. I risultati mostrano che la marmitta elettronica produce un'attenuazione media di 5 dB a 50 cm dall'uscita della marmitta, mentre si ottengono riduzioni anche di 30 dB in corrispondenza dell'uscita.

Il passo successivo da compiere è quello di migliorare l'algoritmo in termini di velocità ed errore di convergenza, in modo da attenuare il rumore prodotto dal go-kart in regime variabile. Inoltre, è in fase di progetto e realizzazione un altro prototipo di marmitta elettronica specifica per motori a quattro tempi.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Trevor A.Laak, "Tonal active control algorithm using overall system modeling", Digisonics Technology group, Stoughton, U.S.A, Proceedings of ACTIVE 99
- [2] K.Li, T.Tanaka, "Active noise control system with a modified variable step size LMS algorithm", Traffic safety and nuisance research institute, Tokyo, Japan, Proceedings of Inter-Noise 99
- [3] P.Minogue, N.Rankin, J.Ryan, "Short duct server fan noise cancellation", Analog Devices B.V., Limerick, Ireland, Proceedings of ACTIVE 99
- [4] Y.Maeda, T.Yoshida, "An active noise control without estimation of secondary-path", Faculty of Engineering, Kansai University, Osaka, Japan, Proceedings of ACTIVE 99
- [5] P.A.C.Lopes, M.S.Piedade, "Pseudo-random MLB sequences for on-line secondary-path modeling", Universidade Tecnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, Proceedings of ACTIVE 99
- [6] N.Naoe, H.Yamada, "Reduced effect of capacitor motor noise using active noise control", Kanazawa Technical College, Dept. of Electrical Engineering, Hisayasu Kanazawa Ishikawa, Japan, Proceedings of Inter-Noise 99
- [7] Scott D.Snyder, "Microprocessors for active control: bigger is not always enough", Department of Mechanical Engineering, University of Adelaide, South Australia, Proceedings of ACTIVE 99
- [8] M.Winberg, S.Johansson, I.Claesson, "AVIIS, active vibration isolation in ships; an ASAC approach", The University of Karlskrona/Ronneby, Ronneby, Sweden, Proceedings of ACTIVE 99
- [9] M.Abom, O.Schiegg, "Turbulence noise suppression methods for ANC in ducts", ABB Corporate Research, Vasteras, Sweden, Proceedings of ACTIVE 99
- [10] J. Couche, C.Fuller, "Active control of power train and road noise in the cabin of a sport utility vehicle with advanced speakers", Vibration and Acoustic Laboratories, Department of Mechanical Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, U.S.A., Proceedings of ACTIVE 99
- [11] H.Lan, M.Zhang, W.Ser, "A noise reduced car communication system", School of EEE, Nanyang Technological University, Singapore, Proceedings of ACTIVE 99
- [12] S.Johansson, P.Persson, I.Claesson, "Active control of propeller-induced noise in an aircraft mock-up", University of Karlskrona/Ronneby, Ronneby, Sweden, Proceedings of ACTIVE 99
- [13] A.Minguez, M.Requero, V.Ulin, J.S.Gil, "Engine noise cancellation inside an automobile", Instituto de Investigacion del Automovil (INSIA), Madrid, Spain, Proceedings of ACTIVE 99
- [14] O.Jiricek, P.Konicek, "Application of methods of acoustic feedback compensation", CTU – FEE, Dept.of Physics, Prague, Czech Republic, Proceedings of ACTIVE 99
- [15] A.Roure, "Le controle actif, mais oui ça marche!", LMA du CNRS, Marseille, France, Publications CETIM (Appl. du controle actif a la reduction des bruits et vibrations)
- [16] G.Chen, N.Saito, M.Abe, S.Makino, T.Sone, "Convergence characteristics of active noise control systems with delayed-x LMS algorithm", Graduate school of information sciences, Tohoku University, Sendai, Japan, Proceedings of ACTIVE 97