

UN PROTOTIPO DI CONTROLLO ATTIVO DEL RUMORE IN CONDOTTI A SEZIONE RETTANGOLARE

P. Guidorzi, M. Garai, A. Cocchi

DIENCA, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

SOMMARIO

Il rumore emesso dai sistemi di condizionamento dell'aria è una delle principali cause di disturbo all'interno degli edifici. Mentre il rumore in alta frequenza può in generale essere attenuato tramite sistemi di controllo passivo, il rumore con rilevante energia a frequenze inferiori a 400-500 Hz risulta invece difficilmente riducibile. La novità del controllo attivo del rumore risiede proprio nell'aver le prestazioni migliori in tale campo di frequenze. Il presente lavoro descrive le caratteristiche di un prototipo in scala reale per lo sviluppo di tecniche di controllo attivo nei condotti aeraulici.

INTRODUZIONE

Il condotto preso in esame ha una sezione rettangolare di dimensioni 400x250 mm e include alcune curve, un silenziatore passivo estraibile, una bocchetta di uscita dell'aria in un ambiente chiuso e un ventilatore a velocità variabile.

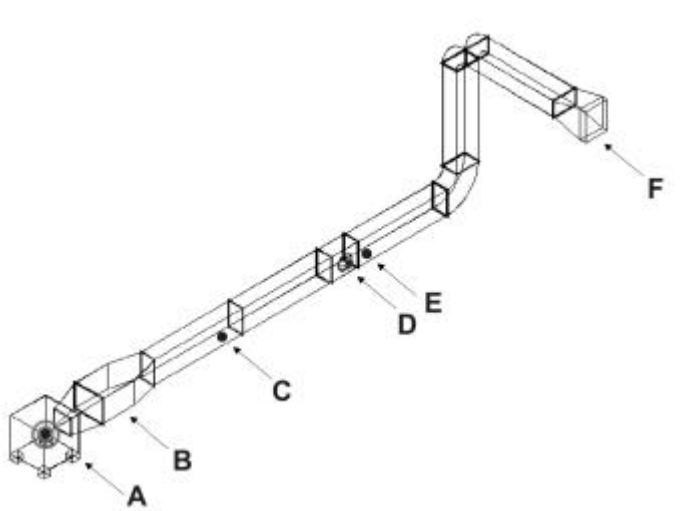


Figura 1 - Configurazione del condotto: (A) ventilatore; (B) alloggiamento del silenziatore passivo estraibile; (C) microfono di riferimento; (D) altoparlante; (E) microfono d'errore; (F) bocchetta di uscita dell'aria nell'ambiente controllato.

Il primo passo da seguire per implementare un sistema di controllo attivo in un caso monodimensionale come quello qui presentato è la scelta del tipo di controllo: diretto o a retroazione. Un sistema di controllo diretto riceve in ingresso un segnale, detto di riferimento, lo elabora opportunamente (equalizzazione e sfasamento) e lo manda in uscita all'attuatore dove fisicamente avviene l'interferenza distruttiva delle onde acustiche con conseguente abbattimento del disturbo. Un secondo segnale, detto di errore, rilevato a valle del controllo e fornito in ingresso al sistema di controllo permette un adattamento del sistema al fine di minimizzare il rumore residuo (si veda lo schema a figura 2 a).

Un sistema a retroazione invece non utilizza un segnale di riferimento, ma agisce solo sull'errore residuo, rilevato mediante un microfono di controllo a valle del punto in cui l'attuatore agisce (si veda lo schema a figura 2 b).

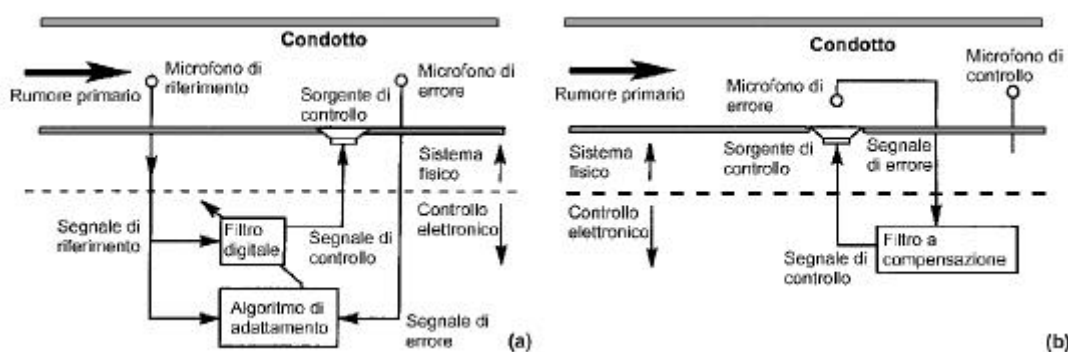


Figura 2 - I sistemi diretto e a retroazione.

Mentre il sistema diretto basa la propria funzionalità su misure in qualche modo predittive della perturbazione primaria, i sistemi retroattivi tentano di attenuare il rumore residuo rimasto a valle del punto in cui è posto l'attuatore. I sistemi retroattivi sono quindi migliori per ridurre la risposta transiente del sistema, mentre i sistemi diretti sono migliori nel funzionamento a regime. Se è possibile ottenere un segnale di riferimento con sufficiente anticipo, ovvero spazialmente lontano dalla zona in cui risiede l'attuatore del controllo, i sistemi di tipo diretto sono da preferire sugli analoghi retroattivi, poiché dotati di una maggiore stabilità intrinseca e sono in generale più efficaci. Si è quindi optato per un tipo di controllo diretto.

METODOLOGIA E RISULTATI

Nel caso specifico, per il controllo attivo viene utilizzata una scheda elettronica EZ-ANC, dotata del microprocessore DSP ADSP2101 della Analog Devices, connessa ad un altoparlante inserito nel condotto e a due microfoni, uno di riferimento e uno di errore. Il programma di gestione del DSP non è modificabile, ma lo sperimentatore può accedere ad una nutrita serie di parametri riuscendo così a personalizzare l'algoritmo, adattandolo caso per caso. Il sistema qui preso in esame può essere schematizzato nel modo presentato in figura 3.

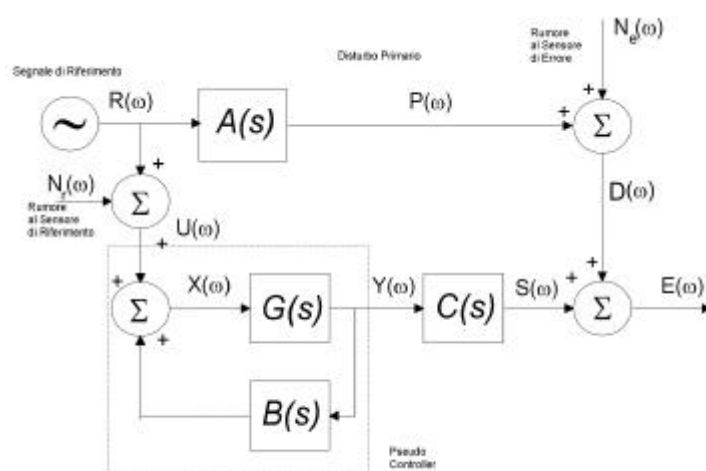


Figura 3 - Schema generale

$P(\omega)$ è la componente del disturbo primario rilevata dal segnale d'errore $E(\omega)$, $R(\omega)$ è il segnale presente al sensore di riferimento e $A(s)$ la funzione di trasferimento del percorso primario. $S(\omega)$ è la componente del segnale di errore dovuta al segnale in uscita dalla sorgente di controllo $Y(\omega)$ e $C(s)$ la funzione di trasferimento del percorso di cancellazione. $N_r(\omega)$ rappresenta il rumore di misura al sensore di riferimento e $N_e(\omega)$ il rumore di misura associato all'acquisizione del segnale di errore. L'ingresso del filtro di controllo $X(\omega)$ dunque riceve in ingresso $N_r(\omega)$, $R(\omega)$ e parte del segnale in uscita dalla sorgente di controllo e che ripercorre in senso inverso il condotto, ovvero il segnale stesso di uscita modificato da una funzione di trasferimento $B(s)$.

Dunque la funzione di trasferimento del pseudo controller evidenziato nel riquadro risulta essere un filtro IIR:

$$H(s) = \frac{Y(\omega)}{U(\omega)} = \frac{G(s)}{1 - G(s)B(s)} \quad (1)$$

Il problema si riduce all'individuazione della funzione di trasferimento $G(s)$ del dispositivo di controllo diretto in grado di minimizzare il segnale di errore $E(\omega)$, ovvero nel dominio delle frequenze la sua densità di potenza spettrale. Operativamente si procederà cercando la funzione di trasferimento ottimale $H(s)$ ed in base alla conoscenza di $B(s)$, ottenuta mediante tecniche di cross-correlazione di rumore pseudo-random generato all'interno del condotto dallo stesso attuatore del controllo, si troverà la funzione di trasferimento ottimale del sistema di controllo. Il sistema di controllo globale dunque è costituito da un filtro (FIR o IIR); la ricerca del valore ottimale dei coefficienti è effettuata per via numerica per mezzo di un algoritmo adattativo (del tipo a gradiente discendente) e dall'identificazione del percorso di cancellazione (anch'esso rappresentato da un filtro FIR).

In particolare per il prototipo in questione si è optato per le seguenti scelte progettuali: la frequenza di campionamento minore possibile (5,21 KHz) per avere la maggiore risoluzione possibile in bassa frequenza; il filtro adattativo di tipo IIR, rivelatosi più efficace del filtro FIR (che non è in grado di modellare funzioni di

trasferimento con poli); un modello del percorso di cancellazione FIR costituito da 40 coefficienti. Sperimentalmente si è trovato che la posizione migliore del microfono di errore all'interno del condotto risulta nelle immediate vicinanze dell'attuatore mentre la posizione migliore del microfono di riferimento risulta sita a 2,45 m dall'attuatore. Si è giunti a questi risultati massimizzando la funzione di coerenza tra i segnali campionati dai due sensori e tenendo conto che maggiore è la distanza del sensore di riferimento dall'attuatore, minore è la contaminazione col segnale generato ma maggiore è la complessità del modello del percorso di cancellazione. Si è quindi proceduto ad alcuni test sommando alla fonte di rumore primaria (il ventilatore) dei segnali sinusoidali, ottenendo ottimi risultati (un esempio in figura 4).

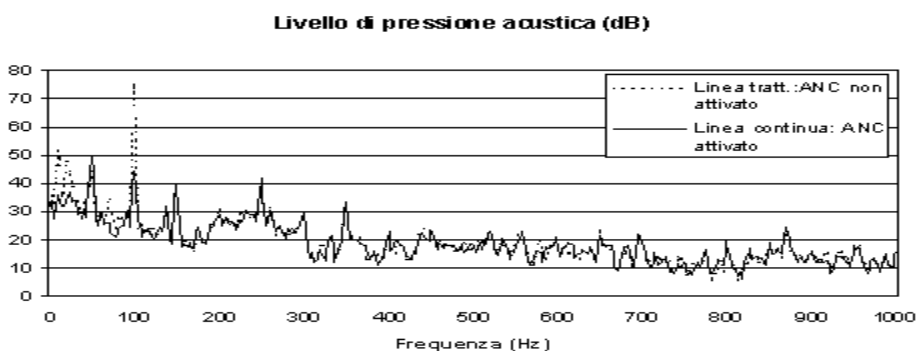


Figura 4 - Cancellazione di tono sinusoidale

Quindi si è passati al caso realistico di un rumore a larga banda concentrato nell'intervallo 100-400 Hz, ottenendo una diminuzione del livello sonoro globale nell'ambiente controllato di 6 dB. L'utilizzo sinergico di controllo attivo (a bassa frequenza) e passivo (ad alta frequenza) permette un'ulteriore diminuzione del rumore residuo nell'ambiente controllato. Il risultato è presentato in figura 5.

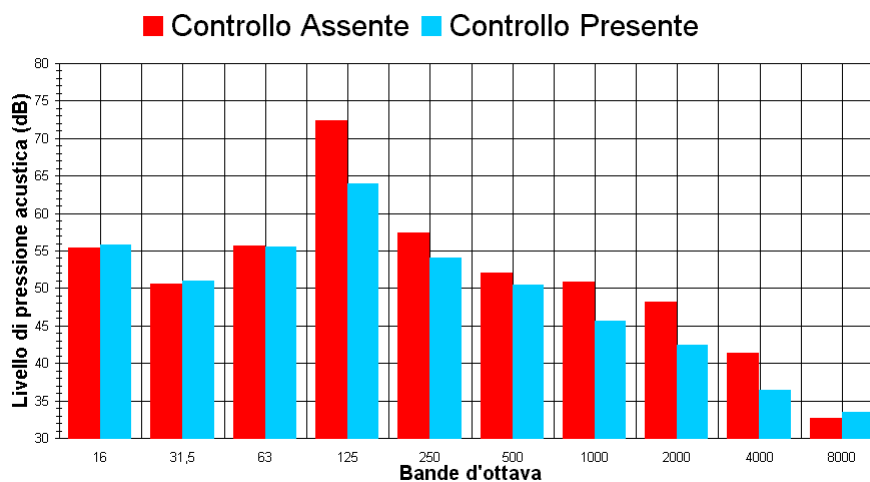


Figura 5 - Risultato del controllo attivo e passivo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. H. Hansen and S. D. Snyder, *Active control of noise and vibration*, E & FN Spon, 1997.
 [2] L. J. Gelin, *Active noise control: a tutorial for HVAC designers*, Ashrae Journal, August 1997.