

## SISTEMA DI CONTROLLO ATTIVO DEL RUMORE APPLICATO AL CAMINO DI UN CABINATO INDUSTRIALE

Francesco Mori (1), Andrea Santoni (1), Cristina Marescotti (1), Patrizio Fausti (1), Francesco Pompoli (1), Pietro Nataletti (2), Paolo Bonfiglio (3)

1) Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara, Ferrara, francesco.mori@unife.it  
2) INAIL, Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro, Roma, p.nataletti@inail.it  
3) Materiacustica s.r.l., Ferrara, paolo.bonfiglio@materiacustica.it

### SOMMARIO

Questo studio valuta la prestazione di un sistema di controllo attivo del rumore applicato allo scarico di un camino di un cabinato industriale. Il sistema implementa l'algoritmo filtrato-X ai minimi quadrati in configurazione feedforward con compensazione del feedback acustico. I test sono stati condotti riproducendo con un dodecaedro diverse registrazioni di macchinari e generando un flusso d'aria con un ventilatore. Il sistema si dimostra una valida soluzione per questo tipo di problema.

### 1. Introduzione

In ambito industriale, non è infrequente trovare incapsulaggi per attenuare la propagazione aerea del rumore e ridurre l'esposizione del lavoratore. Tuttavia, questi cabinati possono presentare diverse aperture che non possono essere in alcun modo schermate, ad esempio per prese d'aria, per il passaggio di condotti o per lo scarico di fumi, limitando l'effetto del trattamento. In questi casi, per ridurre l'emissione di rumore a bassa frequenza, è possibile ricorrere a un sistema di controllo attivo del rumore (ANC). Il tema non è nuovo in letteratura, in particolare per la cancellazione del rumore di sorgenti acustiche in un condotto [1, 2]. Tuttavia, le applicazioni pratiche in ambito industriale risultano limitate rispetto alle prove condotte in laboratorio [3, 4].

Lo studio di applicabilità di un sistema ANC al camino di un cabinato industriale fa parte del progetto BRIC Inail 2022 ID-11. Tale sistema è stato applicato all'uscita del camino di una riproduzione di cabinato industriale per cancellare il rumore all'uscita dello scarico. La sezione 2 descrive il caso studio considerato, le fasi di progettazione del sistema ANC e l'algoritmo che è stato implementato. La sezione 3 riporta i risultati dello studio, distinguendo tra quelli ottenuti per diverse registrazioni di macchinari riprodotte da un dodecaedro dentro il cabinato e quelli ottenuti per l'attenuazione del rumore del flusso d'aria generato da un ventilatore centrifugo incanalato. Infine, la sezione 4 illustra le conclusioni e i possibili sviluppi futuri per migliorare il sistema.

### 2. Setup sperimentale e sistema ANC

I test sono stati condotti su una riproduzione di cabinato industriale come illustrato in figura 1. Il cabinato ha dimensioni 1.5 x 1.5 x 2.0 m e possiede un pannello con un camino lungo 30 cm installato su un lato. All'interno del cabinato è stato posizionato un dodecaedro come sorgente di disturbo simulata, che può riprodurre diverse registrazioni di macchinari, e un ventilatore centrifugo incanalato fino al camino come sorgente di flusso d'aria. Tale ventilatore può avere velocità di 1.20 m/s, 1.75 m/s e 2.10 m/s (denominate V1, V2 e V3 rispettivamente).

Per quanto riguarda il sistema ANC, si è scelto di sviluppare una configurazione feedforward, in modo da poter lavorare anche su rumori poco prevedibili, come ad esempio quello indotto dal flusso d'aria. In tal senso, la posizione del microfono di riferimento è stata scelta in base alla sorgente che si vuole cancellare: per il ventilatore il microfono è stato innestato nel

condotto che porta al camino; per la sorgente acustica è stato posizionato nello spazio in cabina. All'esterno del cabinato è stata montata un'estensione del camino di lunghezza 1 m con un derivatore in cui si innesta la sorgente di controllo. Al termine di tale condotto è stato posizionato un microfono di errore per la creazione della zona di quiete.

Di fondamentale importanza per la cancellazione di rumori non prevedibili è il rispetto del vincolo di causalità, ossia di garantire al sistema ANC di avere il tempo necessario per processare i dati in tempo reale prima che il rumore si propaghi dal microfono di riferimento a quello di errore. Il rispetto di tale vincolo dipende dalla frequenza di campionamento del sistema ANC, della distanza tra i due microfoni e dalla latenza del percorso secondario, intesa come somma delle latenze della scheda e della sorgente di controllo e del percorso di propagazione fino al microfono di errore. Per avere un vincolo di causalità meno stringente, si è scelto di utilizzare una frequenza di campionamento alta, pari a 12800 Hz, a discapito del numero di operazioni che posso essere eseguite in tempo reale. Per questa geometria e per il campionamento fissato, la latenza tra il microfono di riferimento e di errore è di 155 campioni, mentre quella relativa al percorso secondario è di 115 campioni. La lunghezza del condotto esterno potrebbe essere quindi ottimizzata riducendo la differenza tra le due latenze, ma esula al momento dallo scopo della ricerca. L'intero sistema ANC è pilotato da una scheda NI cRIO 9063 con FPGA integrata.

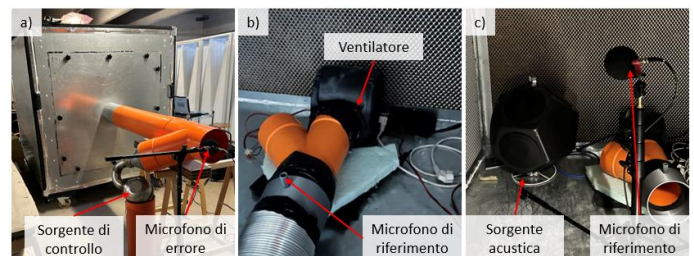


Figura 1 – Setup sperimentale: a) esterno, b) ventilatore e c) sorgente acustica.

Avendo un condotto che si comporta come una guida d'onda, il feedback acustico che si propaga dalla sorgente di controllo al microfono di riferimento, corrompendo il segnale e generando una potenziale fonte di instabilità, può non essere trascurabile. Di conseguenza, l'algoritmo implementato nel sistema è il classico filtrato-X ai minimi quadrati con compensazione del feedback acustico (FF\_FBFX\_LMS) con stima priori

minare del percorso secondario e di feedback [5]. In questo caso, al segnale rilevato dal microfono di riferimento viene sottratto in tempo reale il contributo derivante dalla sorgente di controllo. Il segnale risultante viene inoltre filtrato con un filtro passa-basso a 1000 Hz, per limitare potenziali effetti di instabilità alle alte frequenze.

### 3. Risultati

#### 3.1 Attenuazione del rumore indotto dal flusso d'aria

La figura 2 mostra i risultati in termini di attenuazione globale ottenuta per le diverse velocità del flusso d'aria. In generale si può osservare che, a causa della natura della sorgente di rumore, le attenuazioni globali sono abbastanza limitate e non superano i 2 dB(A). Inoltre, non è stata rilevata una correlazione tra velocità del ventilatore e capacità di attenuazione del sistema ANC. Come si può notare da figura 3, che riporta a titolo di esempio lo spettro in terzi di ottava senza e con controllo attivo per la velocità V2, l'attenuazione generata dal sistema ANC riguarda tutte le bande tra 100 Hz e 800 Hz, ad eccezione di quella a 315 Hz che viene amplificata, ma rimanendo comunque poco rilevante. L'attenuazione globale in dB(A) risulta maggiore rispetto a quella in dB principalmente per via dell'attenuazione tra le bande a 400 Hz e 800 Hz.

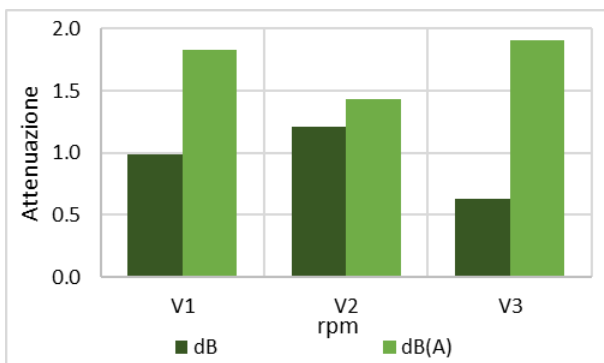


Figura 2 – Attenuazione globale per diverse velocità del ventilatore.

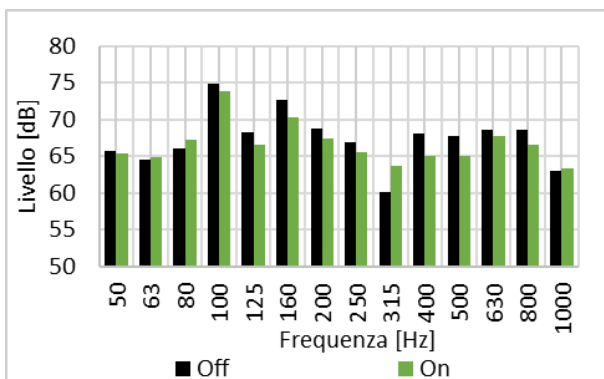


Figura 3 – Livello in terzi di ottava senza e con ANC per il ventilatore a velocità V2.

#### 3.2 Attenuazione del rumore registrato di macchinari

L'effetto del sistema ANC è stato analizzato anche per diverse registrazioni di macchinari, in assenza di flusso d'aria. I risultati in termini di attenuazione globale sono riportati in figura 4. Il trasformatore, il compressore industriale, la pompa e il compressore domestico mostrano uno spettro dominato da componenti tonali molto rilevanti. Essendo componenti stazionarie e periodiche, sono molto prevedibili e la loro attenuazione comporta elevate attenuazioni, sia in dB, sia in dB(A). Al contrario, il compressore del motore è dotato di una parte di

rumore a banda larga più rilevante rispetto agli altri casi. Di conseguenza, l'attenuazione risulta più limitata. Rispetto ai casi citati in precedenza, l'oil burner è un esempio di rumore puramente a banda larga a bassa frequenza. Il sistema ANC è in grado di attenuarlo principalmente nella banda dei 100 Hz, dove i modi del condotto evidenzia un picco, come per il caso del ventilatore. Infine, la macchina ad acqua ha uno spettro non stazionario, a causa di modulazioni in ampiezza e in frequenza nel tempo di durata circa 1 s. L'attenuazione per questo macchinario mostra risultati abbastanza limitati per questo motivo. Per ovviare a questo problema, bisognerebbe riprogettare il sistema, riducendo la frequenza di campionamento e allungando i filtri utilizzati dal sistema ANC.

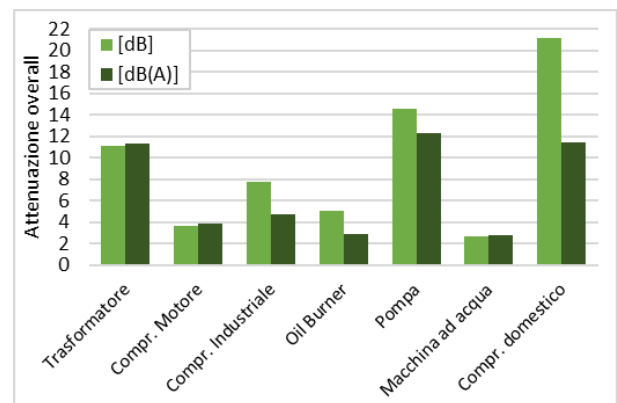


Figura 4 – Attenuazioni globali per diverse registrazioni di macchinari.

### 4. Conclusioni

I risultati mostrano che il sistema ANC applicato al camino di un cabinato industriale rappresenta una valida soluzione per attenuare diversi tipi di rumore e compensare i limiti del trattamento dovuti alla presenza di un'apertura. Per migliorare ulteriormente il sistema è possibile ottimizzare la lunghezza del condotto in uscita (in funzione della frequenza di campionamento scelta) e utilizzare più microfoni di riferimento per migliorare la coerenza tra la sorgente di disturbo e il microfono di errore, principale fattore che determina la potenzialità del sistema. Inoltre, per sorgenti stazionarie, è possibile passare a un sistema "open-loop" in cui il microfono di errore viene rimosso, avendo stimato preliminarmente il filtro necessario per la cancellazione attiva.

### 5. Bibliografia

- [1] Rohlfing J., Gardonio P., *Outlet versus interior feed-forward active noise control for ventilation ducts*, AIA-DAGA 2013, 2013.
- [2] Rohlfing J., Gardonio P., *Ventilation duct with concurrent acoustic feed-forward and decentralised structural feedback active control*, Journal of Sound and Vibration, 333, 2014.
- [3] Kobayashi Y., Fujioka H., *Robust control design for active noise control systems of ducts with a ventilation system using a pair of loudspeakers*, in Atti del 14th International Congress on Sound and Vibration, 2007.
- [4] L'Esperance A., Boudreault L.A., Boudreau A., *Upgrade of a multi-channel active noise control system for an industrial stack*, in Atti dell'International Congress on Acoustics, 2013.
- [5] Mori F., Santoni A., Fausti P., Pompoli F., Bonfiglio P., Nataletti P., *The effectiveness of least mean squared-based adaptive algorithms for active noise control system in a small confined space*, Applied Sciences, **2023** (13), 11173.