

Caratterizzazione vibrazionale del collettore di scarico con vibrometro laser Doppler a scansione

C. Grasso, M. Martorelli, F. Sbarbati*

Elasis S.C.p.A., ex-aeroporto s.n., 80038 Pomigliano D'Arco (NA), Italia

1 Introduzione

In questo ultimo decennio, il comfort, in particolare quello acustico-vibrazionale, è diventato un requisito essenziale per una nuova vettura che deve essere messa sul mercato. Oggi si è, infatti, raggiunto un ottimo livello di affidabilità da parte di tutti i costruttori automobilistici ed il cliente sceglie sempre più spesso l'auto da acquistare anche in base alle sue prestazioni NVH (noise, vibration e harshness).

Ciò è testimoniato, ad esempio, dalla recente pubblicità in occasione del lancio commerciale di una nota utilitaria, in cui si sottolineava la “perfetta” insonorizzazione dell'abitacolo nei confronti dei rumori esterni. Inoltre, sempre ad evidenziare l'attenzione alle performance acustico-vibrazionali, le riviste specializzate (vedi, ad esempio, *Quattroruote*), nell'atto di valutare una nuova vettura, giudicano sia la qualità (attraverso l'indice di articolazione) che la quantità del rumore (rumore interno abitacolo misurato in decibel).

Negli scorsi decenni, è stata studiata e messa a punto una tecnica di misura non invasiva per rilevare le vibrazioni di un oggetto: la vibrometria laser. Lo strumento commerciale, noto come vibrometro laser Doppler (LDV), è sicuramente un potente mezzo di indagine in campo automobilistico.

Nel presente articolo, si illustra un'applicazione di questo strumento per la caratterizzazione vibrazionale della parte “calda” (collettore e catalizzatore) del sistema di scarico.

2 Il collettore di scarico

Il sistema di scarico può essere suddiviso in due tratti principali: la parte “calda” (vedi figura 1), composta dal collettore di scarico e dal catalizzatore, e quella “fredda”, a valle della precedente, formata dalla tubazione e dai vari silenziatori.

Il collettore di scarico è certamente, dal punto di vista acustico-vibrazionale, uno tra i componenti più critici, in quanto risulta essere una delle principali sorgenti di rumore di un motore (vedi figura 2, ad esempio, per una motorizzazione diesel). Ciò spiega la grande attenzione posta sia in fase di progettazione, sia in fase di ottimizzazione sperimentale al comportamento vibro-acustico dello stesso. In particolare, il rumore prodotto dal componente in studio contribuisce sia a quello misurato nella prova di pass-by (vincolante per

* francesco.sbarbati@elasis.it, tel. 081.19695321, fax. 081.19695455

l'omologazione di una nuova vettura) sia al rumore interno abitacolo (ovvero quello che viene percepito, ad esempio, dal guidatore).



Figura 1: Parte “calda” del sistema di scarico (con collettore in ghisa)

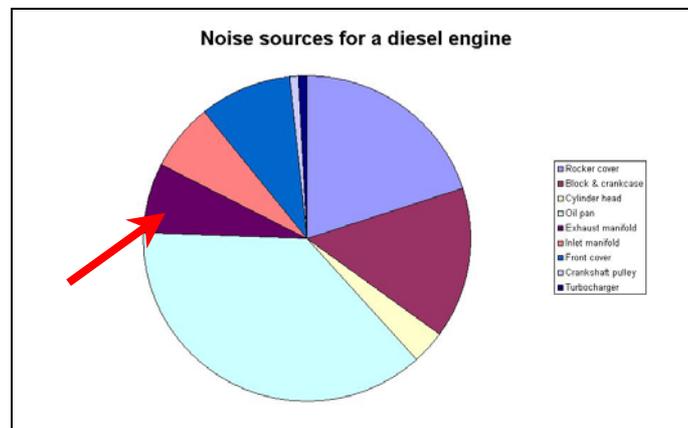


Figura 2: Principali sorgenti di rumore per un motore diesel

Il rumore generato è, principalmente, dovuto a [1]:

- vibrazioni prodotte dal motore che si trasmettono, per via strutturale, alla superficie del sistema di scarico dove si trasformano in rumore;
- passaggio del flusso nella fase di scarico [2].

Più in dettaglio, il susseguirsi delle aperture e chiusure delle valvole di scarico crea, in ogni condotto, onde di pressione. Poiché le pareti della struttura non sono mai perfettamente rigide, queste oscillazioni di pressione sono le eccitanti delle vibrazioni che, a loro volta, danno luogo all'emissione di rumore. Tale fenomeno si presenta nello spettro del rumore con dei picchi corrispondenti alla frequenza di scoppio nei cilindri (2° ordine nel caso di un motore 4 tempi, 4 cilindri in linea) ed alle sue prime armoniche (campo delle basse frequenze). Un altro contributo significativo [3], legato sempre al moto del flusso, è dato dal rumore aerodinamico ad alta frequenza (detto comunemente *rumore autogenerato*), che si sovrappone al precedente e deriva dalla turbolenza dei gas scaricati. In particolare, tale rumore di flusso interessa tutte le frequenze, generalmente, al di sopra di 500 Hz [4]: esso diventa predominante a partire dalla frequenza di alcuni kHz ed aumenta in modo significativo al crescere del regime del motore.

3 Scopo dell'attività

Il collettore di scarico attualmente utilizzato (vedi figura 1) è in ghisa. Tale attività ha avuto come obiettivo principale quello di valutare, dal punto di vista acustico-vibrazionale, le prestazioni di un nuovo collettore realizzato in acciaio (vedi figura 3).

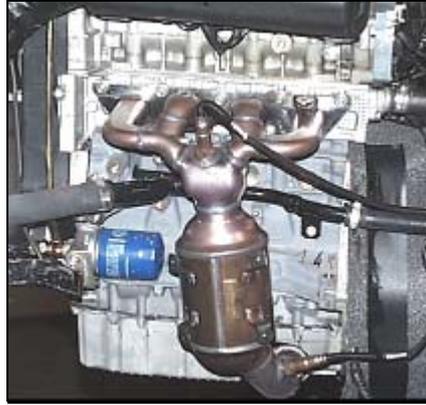


Figura 3: Allestimento con collettore in acciaio

I vantaggi che si hanno adottando tale componente in acciaio sono, fondamentalmente, i seguenti:

- riduzione del peso;
- miglioramento delle emissioni, per una minore inerzia termica del collettore;
- ottimizzazione delle prestazioni, grazie a runner più lunghi.

Da una prima analisi soggettiva effettuata, il collettore in acciaio è risultato essere più rumoroso di quello in ghisa, giudizio confermato anche dal confronto delle potenze sonore misurate (vedi figura 4): in particolare, ai bassi regimi motore è emersa un'anomala rumorosità (simile ad un "trillo"), che viene invece parzialmente mascherata agli alti regimi dal rumore prodotto dal motore.

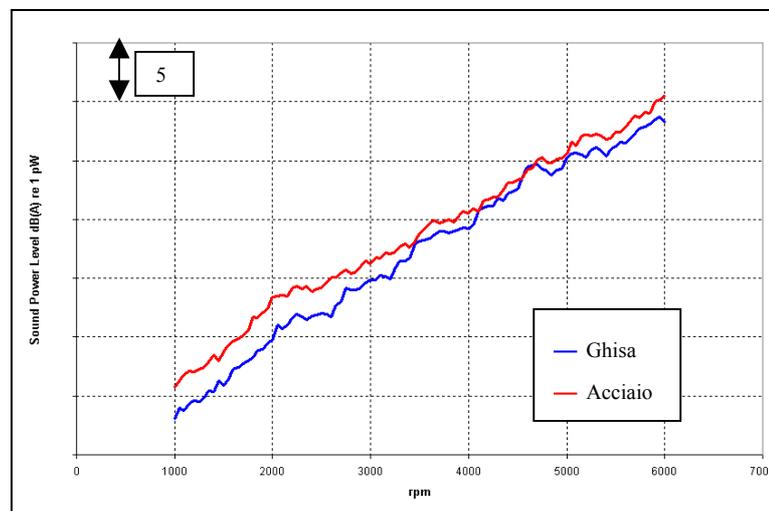


Figura 4: Confronto tra collettore in ghisa ed in acciaio

Pertanto, al fine di ottimizzare il componente dal punto di vista NVH, lo studio è stato rivolto all'individuazione delle zone a maggiore vibrazione. Infatti, una volta localizzate, in corrispondenza di queste ultime si aumenta la rigidità (ad esempio con delle nervature [1]) o lo smorzamento ottenendo in tal modo un decremento del rumore emesso.

4 Caratterizzazione del collettore di scarico

Allo scopo di ottimizzare vibro-acusticamente il collettore di scarico, è stato, quindi, necessario effettuare una caratterizzazione di tale componente determinando le aree a maggior emissione acustica o, in modo equivalente, a maggior vibrazione.

L'intensimetria eseguita sul lato scarico, di cui si riporta un esempio in figura 5, ha fornito in alcuni casi indicazioni con una risoluzione insufficiente rispetto a quanto necessario per la problematica in analisi. Solamente l'utilizzo di altre tecniche di misura, come l'olografia acustica o beamforming, può evitare quest'ultimo problema consentendo la corretta individuazione delle zone più critiche dal punto di vista vibro-acustico.

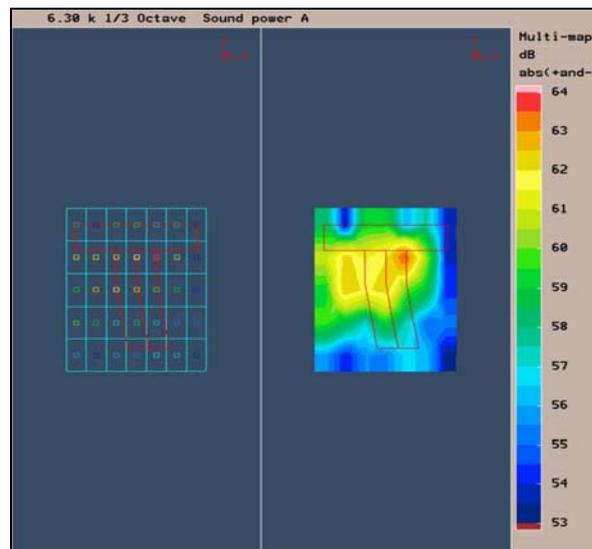


Figura 5: Mappa intensimetrica (terzo d'ottava con centrobanda 6300 Hz)

Altra possibilità per affrontare il problema è quella di utilizzare un vibrometro laser.

Il vibrometro laser Doppler a scansione, utilizzato nella presente attività, è un potente strumento di indagine in campo automobilistico e, al pari delle tecniche sopra citate, è in grado, misurando la velocità¹ nei punti scelti per la definizione di un'opportuna griglia, di ricostruire precisamente il campo vibrazionale del componente. Una delle caratteristiche principali di questo strumento, fondamentale nel presente studio, è la possibilità di effettuare la misura anche su componenti ad elevata temperatura (il catalizzatore raggiunge temperature dell'ordine dei 700°C). Inoltre, tale tecnica di misura ha il vantaggio di essere "senza contatto", evitando in alcuni casi l'effetto di mass loading dovuto agli accelerometri, e relativamente veloce da eseguire.

¹ Si ricorda che questa grandezza è direttamente legata al suono.

5 Analisi e soluzione migliorativa

Una volta individuato un regime motore critico per la rumorosità emessa, sono state effettuate le misure con il vibrometro laser Doppler a scansione sia sulla parte superiore del collettore di scarico che su quella frontale della parte “calda” del sistema di scarico. Visualizzando gli ODS², di cui si riporta un esempio in figura 6, alle differenti frequenze individuate in corrispondenza dei massimi dello spettro medio, siamo stati in grado di localizzare le zone a maggior vibrazione.

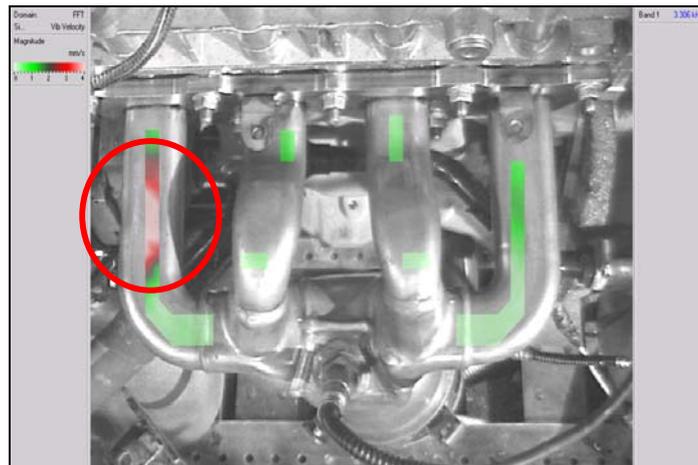


Figura 6: Operating deflection shape (3306 Hz)

Successivamente, al fine di incrementare lo smorzamento nelle aree precedentemente identificate, abbiamo utilizzato dei wired meshes (come mostrato, ad esempio, in figura 7 in cui ne è stata evidenziata la posizione a mezzo di un cerchio rosso) sul ramo lato motore del collettore corrispondente alla massima vibrazione individuata nell'ODS riportato in figura 6.



Figura 7: Collettore in acciaio con wired meshes

² Operating deflection shape

Sono state effettuate, quindi, diverse prove allo scopo di definire sia il numero che le posizioni ideali dei wired meshes per ridurre la criticità acustica che emerge dall'adozione del collettore in acciaio. La configurazione ottimale individuata è stata ritenuta, ad una prima valutazione soggettiva, sensibilmente migliorativa nei confronti di tale rumorosità. Questo giudizio è stato confermato anche da successive analisi oggettive: in figura 8 si riporta, ad esempio, il confronto tra gli spettri della pressione sonora, misurata ad 1m dal motore (lato scarico), negli allestimenti con e senza wired meshes.

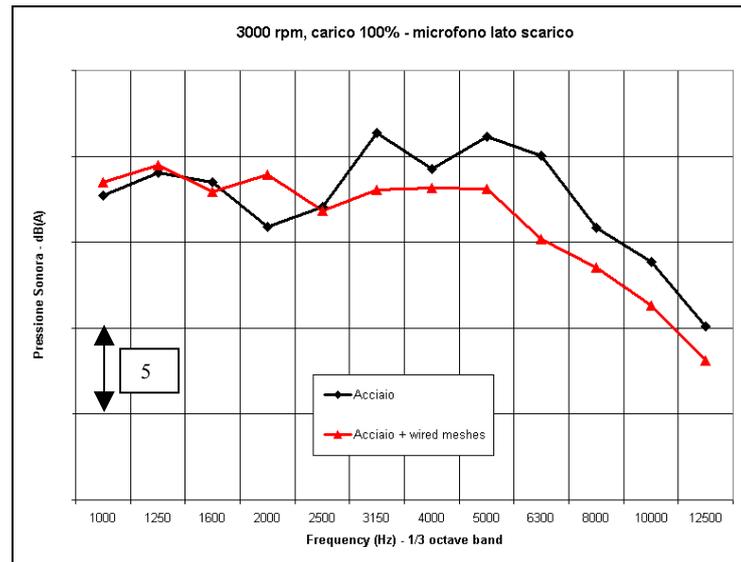


Figura 8: Confronto collettore in acciaio con e senza wired meshes

6 Conclusioni

Nel presente articolo è stata sottolineata, prima di tutto, l'attenzione all'NVH da parte dei costruttori automobilistici ed i conseguenti sforzi per ottenere un buon comfort della vettura sia nella fase di progettazione che in quella di sviluppo.

In particolare, è stata illustrata, attraverso l'esempio del collettore di scarico, un'applicazione della vibrometria laser a scansione, che è un potente strumento di indagine in campo automobilistico, grazie alla quale è stato possibile individuare, in modo rapido e puntuale, le zone a maggior vibrazione del componente analizzato.

Infine, è stata messa a punto, utilizzando i risultati della misura effettuata con il vibrometro laser Doppler a scansione, una possibile soluzione migliorativa nei confronti della criticità vibro-acustica emersa ("trillo") ed è in corso una valutazione circa la convenienza di produrre il collettore di scarico così ottimizzato.

Bibliografia

- [1] M. Zhou, J. Emery, S. H. Dropps, M. Felice, “*Exhaust manifold radiated noise prediction methodology*”. Paper SAE n° 2001-01-1433.
- [2] Ferrari, “*Motori a combustione interna*”. Edizioni il Capitello, Torino.
- [3] M, Sakurai, M. Endo, F. Perie, “*Development of the exhaust systems radiation noise simulation technology*”. ASME 2003 Fluids Engineering Division Summer Meeting – Honolulu (USA), July 6-11 2003.
- [4] C. S. Wren, O. Johnson, “*Gas dynamics simulation for the design of intake and exhaust systems – la test techniques*”. Paper SAE n° 951367.