WHITE PAPER

Metodo di quantificazione del tasso di perdita (LRQ) per le telecamere acustiche

Toros Senan,
Dottore di ricerca Ingegnere ricercatore acustico

Introduzione

Molte applicazioni richiedono il rilevamento di perdite. Tra i più noti vi sono i sistemi ad aria compressa utilizzati in molte applicazioni e più comunemente impiegati negli stabilimenti di produzione.

Aggiornamento sul funzionamento del modello ii900/ii910

Le telecamere acustiche ii900/ii910 utilizzano 64 microfoni disposti in uno specifico schema di array. Al centro dell'array è disposta una telecamera a luce visibile, che fornisce un'immagine della scena. Il dispositivo utilizza algoritmi complessi per generare una mappa sonora o un'immagine delle sorgenti sonore e poi sovrappone la mappa sonora generata all'immagine. A seconda della posizione della sorgente sonora rispetto al campo visivo della telecamera ii900/ii910, il suono viene ricevuto in tempi leggermente diversi da ciascun microfono. Le differenze di tempo tra i microfoni consentono di individuare la posizione della sorgente sonora: se il suono proviene dal lato destro del dispositivo, i microfoni sul lato destro dell'array ricevono il suono una frazione di secondo prima rispetto ai microfoni sul lato sinistro. I modelli ii900/ii910 visualizzano l'immagine relativa a quel suono sul lato destro dello schermo.

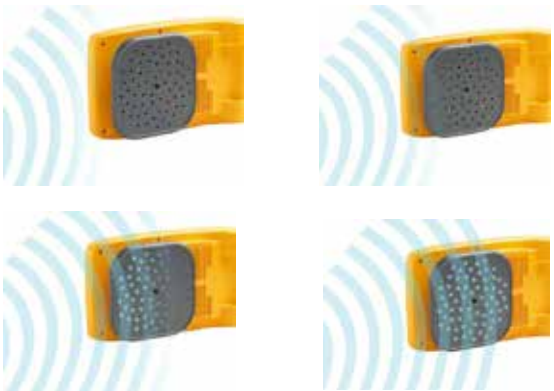
In che modo i modelli ii900/ii910 rilevano le perdite?

Quando si verifica una perdita in un sistema pressurizzato, le molecole di gas (aria) fuoriuscite causano turbolenza, che provoca rapide variazioni di pressione e velocità di flusso. Tali variazioni possono essere trasmesse sotto forma di onde sonore. I modelli ii900/ii910 sono in grado di rilevare la posizione e l'intensità di queste onde sonore.

La fuoriuscita di aria compressa nell'atmosfera dell'ambiente crea un rumore a banda larga sia nella gamma delle frequenze udibili che in quella degli ultrasuoni (Eret and Meskell, 2012; Holstein et al., 2016). Nei sistemi ad aria compressa industriali, i sensori a ultrasuoni a banda stretta (centrati intorno a 40 kHz) sono uno strumento ampiamente utilizzato per la localizzazione delle perdite. Tuttavia, l'utilizzo di un sensore a ultrasuoni a banda stretta comporta alcune limitazioni.

La distanza tra la perdita e il dispositivo di misurazione e l'angolo di misurazione sono fattori fondamentali che contribuiscono all'efficacia dei sensori a ultrasuoni: innanzitutto, il suono ad alta frequenza viene rapidamente attenuato dall'assorbimento atmosferico (vedere Wolstencroft and Neale, 2008).

In secondo luogo, il livello di pressione sonora generato da una perdita di aria compressa varia in base all'angolo di misurazione (Wolstencroft and Neale, 2008). Inoltre, è noto che gli ambienti rumorosi degradano le prestazioni dei sensori a ultrasuoni a banda stretta (Eret and Meskell, 2012). L'utilizzo di sensori a banda larga che funzionano sia nella gamma di frequenze udibili che in quella degli ultrasuoni consente all'utente di compensare le limitazioni sopra menzionate. La flessibilità offerta nella gamma di frequenze aumenta la robustezza del sistema di rilevamento delle perdite. Ad esempio, nella Figura 1 è possibile vedere che l'aria compressa che fuoriesce dall'orifizio aperto con una pressione del sistema di 6 bar genera un rumore a banda larga. La Figura 1 mostra che la regione di frequenze con il livello di pressione sonora più alto misurato rientra nell'intervallo udibile. Al contrario, il livello di pressione sonora misurato nella gamma di frequenze di 35 – 45 kHz (linee tratteggiate rosse nella Figura 1) è notevolmente inferiore rispetto al resto dello spettro di frequenze.



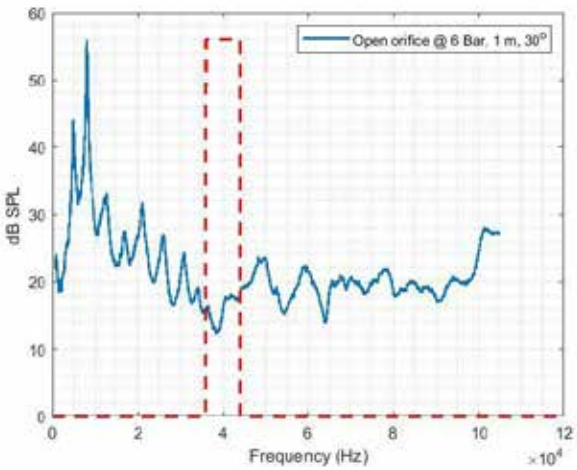


Figura 1: perdite di aria compressa attraverso un orifizio aperto (1/4 pollici). La misurazione è effettuata a una distanza di 1 metro dall'origine della perdita con un angolo di misurazione di 30 gradi mediante la telecamera ii910. La linea blu mostra lo spettro regolarizzato e la linea rossa tratteggiata indica la regione di frequenza intorno a 40 kHz.

Esiste un numero limitato di studi che prendono in esame le caratteristiche di frequenza dei suoni generati dalle perdite di aria compressa. Nello studio di Holstein et al. (2016), sono stati presentati gli spettri di frequenze delle misurazioni delle perdite di aria compressa con portate aumentate sistematicamente (vedere la Fig. 2 in Holstein et al., 2016). La sorgente della perdita era un orifizio rotondo aperto e le misurazioni sono state effettuate da una distanza di 20 cm dalla sorgente. Gli spettri di frequenze mostrano che all'aumentare delle portate delle perdite aumenta l'energia al di sopra dei 50 kHz. Per la massima portata misurata nell'esperimento, lo spettro di frequenze presenta un picco a circa 80 kHz.

Fattori che influenzano il rilevamento delle perdite

I fattori che influiscono sul rilevamento delle perdite vengono trattati a parte nella presente sezione. Occorre notare che i fattori illustrati nella presente sezione interagiscono tra loro e devono essere considerati come singoli componenti di un fenomeno complesso di ampia portata.

Fattori di origine della perdita:

1. **Pressione del sistema**
   In genere, maggiore è la pressione del sistema, maggiore è la perdita, la quale comporta una maggiore intensità del suono, facilitando il rilevamento.

2. **Portata**
   Analogamente alla pressione, maggiore è la portata del sistema, maggiore è la perdita, con conseguente maggiore intensità sonora misurata nel punto della perdita. Una maggiore intensità sonora facilita il rilevamento acustico.

3. **Dimensione e forma dell'orifizio**
   La dimensione e la forma dell'orifizio devono essere considerate insieme. Quando consideriamo l'ampia varietà di potenziali perdite d'aria, diventa presto difficile fornire una linea guida sull'effetto della forma e della dimensione sul rilevamento delle perdite. Questo elenco mostra alcune delle potenziali sorgenti di perdite. Sia la dimensione che la forma dell'orifizio differiscono per ciascuna voce dell'elenco Tubi flessibili dell'aria e relativi raccordi o giunti

- Raccordi usurati o raccordi privi di O-ring
- Filtri, lubrificatori e regolatori, se installati in modo errato
- Sfiati aperti
- Scaricatori di condensa aperti
- Scarichi in perdita o malfatti
- Sigillanti per filettature difettosi o di qualità inferiore o applicati in modo errato
- Valvole di controllo e di intercettazione
- Tenute o guarnizioni usurate
  - Utensili pneumatici vecchi o scarsamente sottoposti a manutenzione
  - Macchina o apparecchiatura di produzione con ingresso di aria inattiva o inutilizzata

Gas	Formula	Po (Kg/m^3)
Acetilene	C^2H^2	1,173
Aria	-	1,2929
Ammoniaca	NH^3	0,7710
Argon	A	1,7837
Biossido di carbonio	CO^2	1,977
Monossido di carbonio	CO	1,250
Cloro	Cl^2	3,214
Etano (10°C)	C^2H^6	1,356
Etilene	C^2H^4	1,260
Elio	He	0,1785
Idrogeno	H^2	0,0899
Solfuro di idrogeno	H^2S	1,539
Metano	CH^4	0,7168
Neon	Ne	0,9003
Ossido nitrico (10°C)	NO	1,34
Azoto	N^2	1,2506
Protossido d'azoto	N^2O	1,977
Ossigeno	O^2	1,429
Propano	C^3H^8	2,9009
Diossido di zolfo	SO^2	2,927
Vapore (100 °C)	H^2O	0,598
Esafluoruro di zolfo**	SF^6	6,17
Refrigerante R134a***	CH^2FCF^3	14,433

Tabella 1: elenco dei valori di densità per i gas. La densità del gas, po, a 0°C 1ATM*

*Manuale di chimica e fisica. 48 ed.
**https://it.wikipedia.org/wiki/Esafluoruro_di_zolfo
***https://www.engineeringtoolbox.com/r134a-properties-d_1682.html

Proprietà del fluido

Le proprietà del fluido influiscono sul suono generato allorché fuoriesce dalla perdita.

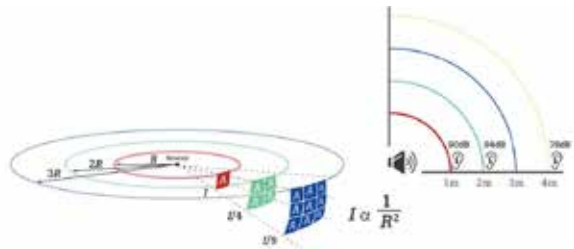
4. **Densità**
   La tabella seguente mostra la densità dei gas in Kg/m3 a 0 °C e una pressione atmosferica. La densità del gas influisce sull'intensità del suono emesso dalla perdita. Ad esempio, la bassa densità dell'elio implica che, in confronto all'ariaa compressa, a parità di portata e pressione, i livelli di pressione sonora misurati nel punto della perdita saranno inferiori. L'esperienza sul campo conferma che la rilevazione di una perdita di elio è difficoltosa.

5. **Viscosità**
   La viscosità del gas influisce sul livello di pressione sonora in corrispondenza del punto della perdita. Tuttavia, il suo impatto sarà inferiore a quello della densità.

6. **Temperatura ambiente**
   Dobbiamo considerare la temperatura ambiente sia alla sorgente della perdita che lungo il percorso. Per la sorgente della perdita, la temperatura ambiente influisce sulla densità e sulla viscosità. Entrambi questi fattori alterano il livello di pressione sonora nel punto della perdita. All'aumentare della temperatura ambiente, aumenta l'energia cinetica delle molecole, con conseguente aumento dell'intensità sonora in corrispondenza della perdita.

7. **Pressione ambiente**
   La pressione ambiente influisce direttamente sulla densità di un gas. Una riduzione della pressione ambiente determina una densità inferiore, con conseguente riduzione dell'intensità sonora in corrispondenza della perdita.

Fattori di percorso ed effetti atmosferici



Raddoppiando la distanza tra la sorgente sonora e la posizione di misurazione in campo libero, l'intensità sonora diminuisce di 6 dB.

8. **Distanza della telecamera dalla perdita**
   La distanza di misurazione influisce sul livello di pressione sonora misurato. Quando il suono si propaga in tutte le direzioni dalla sorgente, la sua intensità diminuisce con la distanza.

9. **Temperatura ambiente**
   Le variazioni della temperatura ambiente possono alterare sia la densità dei gas che la viscosità. Entrambe, a loro volta, influenzano la velocità del suono durante il suo percorso nel fluido. Con l'aumentare della temperatura, il suono viaggia più velocemente. La variazione della temperatura ambiente è uno dei meccanismi che incidono sulla quantità di energia acustica assorbita dall'atmosfera. Per frequenze basse e distanze brevi, l'impatto della temperatura sull'assorbimento dell'aria è trascurabile (Harris, 1966). Tuttavia, per frequenze molto alte e distanze lunghe, il livello di pressione sonora può essere notevolmente ridotto (Vladišauskas and Jakevičius, 2004.

10. **Umidità**
    Il secondo meccanismo che influisce sul livello di pressione sonora a causa dell'assorbimento dell'aria è l'umidità. A causa dell'influenza della temperatura ambiente, in condizioni normali, l'influenza dell'umidità sul livello di pressione sonora è trascurabile (Harris, 1966). L'impatto è notevole per frequenze molto elevate e alti livelli di umidità (Vladišauskas and Jakevičius, 2004).

11. **Pressione ambiente**
    La pressione ambiente non incide sul livello di pressione sonora in un'approssimazione al gas ideale, poiché sia la densità dell'aria che la pressione del gas hanno effetti simili ma opposti sulla velocità del suono. I due contributi si annullano. Pertanto, non è prevista alcuna differenza tra il livello di pressione sonora del punto della perdita e nella posizione di misurazione a causa della pressione ambiente.

Quali proprietà delle perdite misura la telecamera ii900/ii910?

I modelli ii900/ii910 rivelano il tipo di perdita e ne stimano la portata in base all'input acustico. È stata progettata e condotta una serie di esperimenti di laboratorio per lo sviluppo degli algoritmi di classificazione dei tipi di perdite e di previsione della portata.

Classificazione del tipo di perdita nella telecamera ii900/ii910

I modelli ii900 e ii910 classificano i dati delle perdite acustiche acquisiti in base a dove si verificano: tubo flessibile, estremità aperta, attacco rapido e giunto filettato. Quattro classificazioni, corrispondenti ai quattro tipi di perdite, sono state installate all'estremità di un sistema di tubazioni dell'aria compressa e le misurazioni acustiche sono state condotte in una camera semi-anecoica. Nelle Figure 3 e 4 sono riportati due esempi dell'allestimento sperimentale. I raccordi che formavano le quattro condizioni di perdita per l'esperimento sono illustrati nella Figura 5.

1. **Tubo flessibile:** il tubo flessibile è un tipo di tubo che consente un facile collegamento. Tuttavia, al contrario del tubo in metallo e ottone, è realizzato con un materiale più sensibile. Pertanto, si formano facilmente tagli e fori specifici con i tubi flessibili che collegano un compressore d'aria ai dispositivi pneumatici. È stata utilizzata una perdita da taglio a fessura del tubo flessibile per acquisire i dati acustici della perdita del tubo flessibile per la classificazione e la previsione della portata (Figura 3 e Figura 5a).

2. **Estremità aperta:** il tipo di perdita più comune utilizzato negli studi scientifici (riferimenti) è da un tubo con estremità aperta o da un orifizio aperto. Si verifica quando un tratto di tubazione/conduttura dell'impianto ad aria compressa viene lasciato aperto. Un tubo con estremità aperta è stato utilizzato negli esperimenti di classificazione e previsione della portata nella fase di sviluppo della telecamera ii900 (Figura 4 e Figura 5b).

3. **Attacco rapido:** i raccordi ad attacco rapido, noti anche come raccordi a scollegamento o a sgancio rapido, consentono collegamenti facili e veloci. I raccordi ad attacco rapido si basano sulle inclinazioni che scorrono in una direzione e sono resistenti alla trazione nella direzione opposta. In genere, una o più di queste inclinazioni interne sono danneggiate e l'aria compressa fuoriesce attraverso il raccordo ad attacco rapido. L'aria si diffonde intorno al raccordo e la direzione della perdita di aria compressa varia in base al tipo di deformazione. Un raccordo ad attacco rapido deformato è stato utilizzato per le misurazioni acustiche durante lo sviluppo degli algoritmi di classificazione e previsione della portata delle telecamere ii900/ii910 (Figura 5c).

4. **Giunto filettato:** è comune utilizzare un tappo terminale filettato per le estremità di un impianto ad aria compressa. I cappucci terminali filettati devono essere posizionati con cautela e montati correttamente riguardo al numeri di filetti che devono essere inseriti nel tubo terminale. A volte i tecnici possono lasciare allentati questi tratti terminali. Inoltre, i cappucci terminali filettati possono deformarsi se utilizzati più volte. In tali casi, l'aria compressa fuoriesce attraverso il cappuccio terminale, pregiudicando l'efficienza del sistema. Negli esperimenti è stato utilizzato un cappuccio terminale filettato lasciato allentato come sorgente di perdita (Figura 5d).

Figura 3: la misurazione del tipo di perdita dal tubo flessibile ad un angolo di 30 gradi.

Figura 4: allestimento sperimentale di una misurazione di perdite su estremità aperta ad un angolo di 90 gradi.

Figura 5: i quattro tipi di perdite analizzati durante gli esperimenti: tubo flessibile (a), estremità aperta (b), attacco rapido (c) e giunto filettato (d).

Indice di quantificazione del tasso di perdita

I modelli ii900/ii910 forniscono una stima della portata nel punto di perdita in base ai dati acustici acquisiti. Gli algoritmi della portata sono stati progettati in base ai risultati delle misurazioni di laboratorio condotte nella camera semi-anecoica. A causa delle diverse caratteristiche acustiche di ciascun tipo di perdita, vi è un algoritmo di previsione della portata per ciascun tipo di perdita. Pertanto, gli algoritmi di stima della portata intervengono dopo la fase di classificazione.

La portata prevista di un tipo di perdita viene poi convertita nell'indice di quantificazione del tasso di perdita (LRQ). Il valore LRQ è compreso tra 0 e 10. Un valore LRQ più alto indica una portata maggiore nel punto della perdita e può essere considerato un suggerimento per l'eliminazione della perdita.

Conclusioni

I modelli ii900/ii910 forniscono una gamma di frequenze efficiente e una soluzione mediante dispositivi palmari facili da usare per cercare di compensare le difficoltà di rilevamento e quantificazione delle perdite. La funzione LRQ è fondamentale per mantenere l'efficienza degli impianti ad aria compressa e le funzionalità di generazione dei report migliorano la velocità di comunicazione tra i tecnici addetti alla manutenzione.

Riferimenti

Eret, P., & Meskell, C. (2012). Microphone arrays as a leakage detection tool in industrial compressed air systems. Advances in Acoustics and Vibration, 2012.

Harris, C. M. (1966). Absorption of sound in air versus humidity and temperature. The Journal of the Acoustical Society of America, 40(1), 148–159.

Holstein, P., Barth, M., & Probst, C. (2016). Acoustic methods for leak detection and tightness testing. In Proceedings, 19th World Conference on Non-Destructive Testing (pp. 13–17).

Vladišauskas, A., & Jakevičius, L. (2004). Absorption of ultrasonic waves in air. Ultragarsas, 50(1), 46–49.

Wolstencroft, H., & Neale, J. (2008). Characterisation of compressed air leaks using airborne ultrasound. Proceedings of Acoustics (AAS'08).

Fluke. *Keeping your world up and running.®*

Fluke Italia S.r.l.
Viale Lombardia 218
20861 Brugherio (MB)
Tel: +39 02 3600 2000
E-mail: cs.it@fluke.com
www.fluke.it

Fluke (Switzerland) GmbH
Industrial Division
Hardstrasse 20
CH-8303 Bassersdorf
Telefon: +41 (0) 44 580 7504
E-Mail: roc.switzerland@fluke.com
www.fluke.it

©2020–2021 Fluke Corporation. Tutti i diritti riservati. Dati passibili di modifiche senza preavviso.

06/2021 210581-it

Non sono ammesse modifiche al presente documento senza autorizzazione scritta da parte di Fluke Corporation.