

L'oscillometria

Oscillometry

Monica Iuli¹, Arianna Sepiaci², Francesca Camardelli², Josuel Ora³

¹ Centro Clinico San Vitaliano s.r.l., Catanzaro; ² Malattie dell'Apparato Respiratorio, Università di Roma Tor Vergata, Roma; ³ UOC Malattie dell'Apparato Respiratorio, Fondazione Policlinico Tor Vergata, Roma

Riassunto

L'oscillometria è una tecnica non invasiva che valuta le proprietà meccaniche del sistema respiratorio. Sebbene la tecnica sia molto semplice e richieda una minima collaborazione da parte del paziente, la teoria che la supporta è complessa. L'oscillometria misura l'impedenza del sistema respiratorio, composta da resistenza (Rrs) e reattanza (Xrs). Le ultime raccomandazioni hanno semplificato notevolmente la sua interpretazione. Questa tecnica è stata applicata in diversi campi e recentemente si è dimostrata particolarmente utile nel test di broncodilatazione, con soglie standardizzate per definire una risposta significativa. Inoltre, viene sempre più spesso utilizzata nell'iter diagnostico-terapeutico di diverse malattie respiratorie come asma, BPCO, fibrosi cistica e altre, grazie alla sua facilità di esecuzione e alla minima collaborazione richiesta, sebbene i risultati non siano sempre facilmente interpretabili. Nonostante le sue potenzialità, l'oscillometria non è ancora in grado di sostituire la spirometria, ma le due metodiche risultano complementari. Le future ricerche dovranno chiarire ulteriormente l'interpretazione clinica dei risultati oscillometrici.

Parole chiave: oscillometria, resistenza, reattanza, impedenza

Summary

Oscillometry is a non-invasive technique that evaluates the mechanical properties of the respiratory system. While the technique is very simple and requires minimal patient cooperation, the underlying theory is complex. Oscillometry measures the impedance of the respiratory system, which consists of resistance (Rrs) and reactance (Xrs). Recent recommendations have greatly simplified its interpretation. This technique has been applied in various fields and has recently proven particularly useful in the bronchodilation test, with standardized thresholds to define a significant response. Moreover, it is increasingly used in the diagnostic-therapeutic process of various respiratory diseases such as asthma, COPD, cystic fibrosis, and others, thanks to its ease of execution and minimal cooperation required, although the results are not always easily interpretable. Despite its potential, oscillometry is not yet capable of replacing spirometry, but the two methods are complementary. Future research will need to further clarify the clinical interpretation of oscillometric results.

Key words: Oscillometry, Respiratory system, Non-invasive technique, Impedance, Resistance (Rrs), Reactance (Xrs).

Come funziona

L'oscillometria è una metodica per valutare in modo non invasivo le proprietà meccaniche del sistema respiratorio. Descritta per la prima volta da DuBois nel 1956¹, è attualmente tornata in uso grazie alla sua semplicità di esecuzione, rapidità di acquisizione dei dati, e analisi dei segnali. La tecnica è molto semplice: si chiede al paziente di respirare attraverso un boccaglio mentre un altoparlante genera impulsi (*impulse oscillometry*, IOS) o onde (*Forced Oscillometry Technique*, FOT) che si sovrappongono al respiro corrente del paziente. Le indicazioni per il paziente sono minime: seduto, respiro tranquillo, abiti comodi, posizione neutra, naso chiuso (clip nasale). È cruciale che le guance siano tenute ferme, preferibilmente

Ricevuto/Received: 19/07/2024

Accettato/Accepted: 30/07/2024

Corrispondenza

Josuel Ora

UOC Malattie dell'Apparato Respiratorio, Fondazione Policlinico Tor Vergata, viale Oxford 81
00133 Roma

Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano di non avere nessun conflitto di interesse con l'argomento trattato nell'articolo.

Come citare questo articolo: Iuli M, Sepiaci A, Camardelli F, et al. L'oscillometria. Rassegna di Patologia dell'Apparato Respiratorio 2024;39:154-158. <https://doi.org/10.36166/2531-4920-773>

© Copyright by Associazione Italiana Pneumologi Ospedalieri – Italian Thoracic Society (AIPO-ITS/ETS)



OPEN ACCESS

L'articolo è open access e divulgato sulla base della licenza CC-BY-NC-ND (Creative Commons Attribuzione – Non commerciale – Non opere derivate 4.0 Internazionale). L'articolo può essere usato indicando la menzione di paternità adeguata e la licenza; solo a scopi non commerciali; solo in originale. Per ulteriori informazioni: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

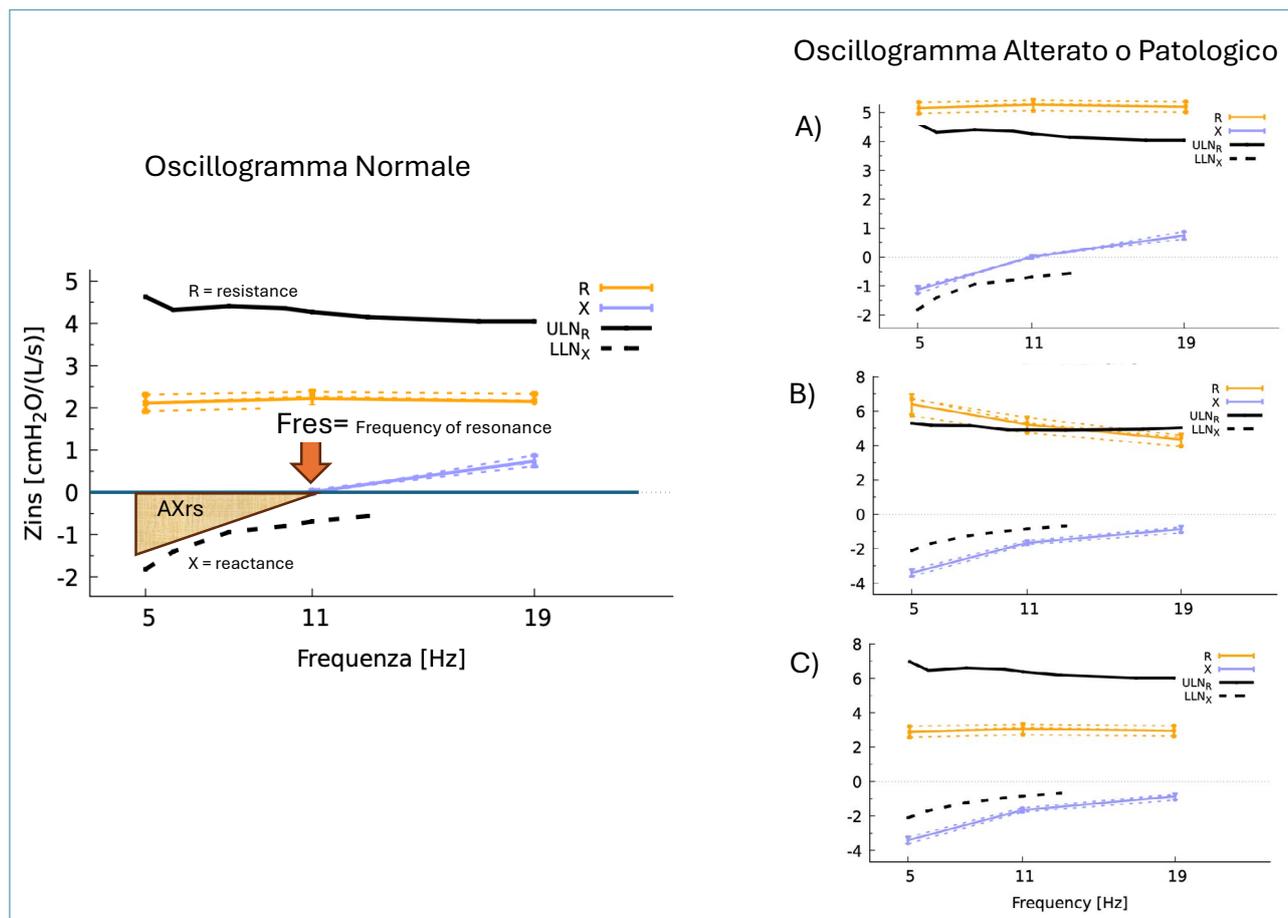


Figura 1. A sinistra è illustrato un oscillogramma normale, mentre a destra tre possibili oscillogrammi alterati o patologici. Nella figura di sinistra, le due linee nere rappresentano i valori di riferimento: quella sopra continua indica le resistenze (R) e quella sotto tratteggiata la reattanza (X). L'impedenza (Z) è la somma delle due componenti. Sull'asse delle ascisse sono presenti le diverse frequenze (Hz), dove 5 Hz valutano tutto il sistema respiratorio mentre le 19 Hz valutano le vie centrali. In arancione e viola sono riportati i valori misurati. Inoltre, sono evidenziate altre misure di reattanza: AXrs, cioè l'area di reattanza del sistema respiratorio, e la Fres, che è la frequenza di risonanza.

Nella parte di sinistra: l'oscillogramma è normale se i valori misurati sono all'interno dei valori di riferimento, cioè le resistenze sono inferiori agli ULN delle resistenze e la reattanza è superiore ai LLN della reattanza. È importante sottolineare che un oscillogramma normale non esclude una patologia respiratoria sottostante.

Nella parte di destra:

- Scenario A: Le resistenze misurate sono aumentate (più positive degli ULN), ma uniformemente, cioè indipendentemente dalla frequenza, indicando normalmente un aumento di resistenza e quindi un'ostruzione delle vie centrali.
- Scenario B: Si osserva un aumento della reattanza (più negativa rispetto ai LLN) e un aumento delle resistenze, maggiormente alle basse frequenze, con un aumento della differenza R5-R19. Questo è il tipico oscillogramma da danno delle piccole vie aeree, come avviene nelle patologie ostruttive (asma, BPCO), anche se purtroppo non è né sempre presente né un segno precoce di patologia.
- Scenario C: Le resistenze sono normali, ma la reattanza è più negativa dei LLN, il che indica probabilmente una patologia che può aver aumentato l'elasticità polmonare, come nelle patologie restrittive, o alterato l'omogeneità di svuotamento, come nella maggior parte delle patologie, soprattutto quelle ostruttive. Purtroppo, anche se questo è un segno precoce, è scarsamente indicativo della patologia del paziente e deve essere integrato con ulteriori esami.

dall'operatore o da dispositivi dedicati. Le recenti raccomandazioni ERS/ATS hanno fissato gli standard tecnici di riproducibilità dell'oscillometria². Per il clinico, i messaggi principali sono che il paziente non deve respirare troppo velocemente e che la variabilità dei respiri (CoV) deve essere inferiore al 10% negli adulti e al 15% nei bambini. Inoltre, si consiglia di eseguire il test come primo esame per evitare effetti distorsivi dei "respironi".

I maggiori vantaggi dell'oscillometria sono: la facilità di esecuzione, l'assenza di necessità di collaborazione da parte del paziente e la misurazione a volume corrente. Queste caratteristiche differenziano l'oscillometria dalla spirometria, che è eseguita a capacità vitale, richiede collaborazione e, nella sua modalità forzata, causa una compressione dei gas e distorsione delle vie aeree. L'acquisizione dei segnali si basa su un trasduttore di

pressione e la misurazione del flusso, mentre l'analisi dei dati è più complessa e si basa su principi fisici che coinvolgono l'analisi di Fourier delle oscillazioni forzate applicate al sistema respiratorio. Nonostante i calcoli sottostanti non siano facilmente valutabili per il clinico, la relazione fra pressione imposta e flusso risultante, analizzata nel dominio delle frequenze, fornisce tre dati principali (Fig. 1):

- L'impedenza del sistema respiratorio (Zrs): valuta la relazione tra la pressione oscillatoria applicata e il flusso risultante a ciascuna frequenza. Questo dato fornisce una stima della facilità con cui l'aria fluisce all'interno e all'esterno dei polmoni, ma nella pratica clinica viene utilizzata nelle sue due componenti: resistenza e reattanza.
- La resistenza del sistema respiratorio (Rrs): comprende le vie aeree, i tessuti e la gabbia toracica. Si valuta la componente pressoria in fase con il flusso, definita componente reale, con valori positivi.
- La reattanza del sistema respiratorio (Xrs): concetto più complesso, legato alla *compliance*/elastanza e all'inerzia per le frequenze più alte. È determinata anche da alterazioni di ventilazione disomogenea ed è la componente pressoria fuori fase rispetto al flusso, ma in fase con le variazioni di volume, definita componente immaginaria, a causa della natura della sua descrizione matematica e ha valori negativi.

La formula risultante è $Zrs = Rrs + jXrs$, dove la componente di reattanza (Xrs) può essere divisa in reattanza capacitiva (Xc), che rappresenta l'elasticità del sistema (*compliance* polmonare), e reattanza induttiva (Xi), che rappresenta l'inerzia del sistema (massa d'aria nelle vie aeree).

Inoltre, l'oscillometria valuta queste caratteristiche a diverse frequenze (Hz). Le frequenze più basse (5 Hz) attraversano tutto il sistema respiratorio, fornendo informazioni su tutto il sistema respiratorio, mentre le frequenze più alte (19-20 Hz) si fermano alle vie aeree principali, non raggiungendo la periferia del polmone. Nel caso delle resistenze, le alte frequenze (19 o 20 Hz) indicano le alte vie respiratorie, mentre le basse frequenze (5 Hz) coprono tutto il sistema respiratorio. La differenza tra le alte e le basse frequenze (R5-19 o R5-20) indica le resistenze delle piccole vie aeree, e valori aumentati sono considerati indice di danno delle piccole vie.

La reattanza Xrs, invece, riflette l'elasticità polmonare e il grado di efficacia della ventilazione del polmone profondo, evidenziando l'omogeneità della ventilazione. Le alte frequenze (X19-20) riguardano la componente inerziale, non considerata clinicamente importante. Le reattanze a basse frequenze (X5) o misure correlate (AX – area di reattanza o Fres – frequenza di risonanza)

sono indicatori di patologia in senso lato, diventando più negative in condizioni di ostruzione periferica, limitazione del flusso espiratorio a volume corrente, intrapolamento di gas alveolare e restrizioni parenchimali ed extraparenchimali (patologie ostruttive, restrittive interstiziali e di parete)³.

Qual è lo stato dell'arte

Negli ultimi anni, l'oscillometria è stata utilizzata in diverse patologie: ostruttive (asma, BPCO, fibrosi cistica, bronchiolite obliterante), restrittive parenchimali (ILD, fibrosi polmonare) ed extraparenchimali (neuromuscolari, obesità), apnee ostruttive del sonno, valutazione delle risposte broncodilatatrici e broncocostrittrici, disfunzione delle corde vocali, COVID-19, esposizione professionale e alla nicotina, ventilazione meccanica^{4,5}. Una delle applicazioni più interessanti e con immediata applicazione clinica dell'oscillometria è il test di broncodilatazione. Nonostante diversi studi abbiano identificato vari *cut-off* per definire positivo il test oscillometrico, le ultime raccomandazioni hanno standardizzato le soglie definendo una risposta significativa al broncodilatatore (BDR) sia per gli adulti che per i bambini come una diminuzione del -40% di R5, un aumento del +50% di X5 o una diminuzione del -80% in AX rispetto al basale^{2,6}. La semplicità del test, che non richiede collaborazione e ha soglie chiare, consente di eseguire il test di broncodilatazione con oscillometria praticamente su tutti i pazienti, indipendentemente dall'età e dal grado di collaborazione. Al contrario, il test di broncocostrizione ha mostrato troppa variabilità nei diversi studi e non ha ancora soglie di riferimento definite². Pertanto, sebbene in futuro possa avere altre applicazioni, oggi è utilizzabile solo per la ricerca.

La distinzione tra patologia ostruttiva e patologia restrittiva, tipica della spirometria, non si applica direttamente all'oscillometria.

Teoricamente, se la reattanza rappresentasse solo l'elasticità polmonare, sarebbe semplice: nelle patologie restrittive la reattanza (X5) sarebbe aumentata (più negativa) e nelle patologie ostruttive periferiche (asma, BPCO) le resistenze (R5) sarebbero aumentate, nelle ostruzioni centrali le resistenze a frequenze alte (R19 o R20) sarebbero aumentate. Tuttavia, questo ragionamento non considera che la reattanza include anche la disomogeneità della ventilazione e che le resistenze non sono sempre aumentate nelle prime fasi delle malattie ostruttive. Per questo, in tutte le patologie respiratorie la reattanza è più negativa della norma e gli indici di reattanza sono aumentati (X5 più negativo, AX aumentato, Fres a frequenza maggiore), senza differenze tra ILD, BPCO o asma⁷. Paradossalmente, nelle patologie

ostruttive la reattanza sarà maggiormente aumentata (più negativa) rispetto alle patologie restrittive, evidenziando che la disomogeneità ventilatoria ha un maggior peso nel determinare questo parametro ⁷.

Nelle patologie ostruttive, i valori della resistenza e della reattanza sembrano correlati alla gravità della malattia, con l'aumento delle resistenze totali (R5) e la riduzione della reattanza ^{5,8,9}. Ma il vero potenziale di questa tecnica risiede nell'identificazione precoce del danno delle piccole vie (diametro < 2 mm), anche in soggetti con spirometria normale, facendo "parlare" quella che è sempre stata considerata e denominata "silent zone" in quanto non visibile ai test convenzionali. L'indice più utilizzato è la differenza tra le resistenze totali (R5) e quelle delle vie aeree centrali (R19 o R20), che si sono mostrate aumentate nei pazienti BPCO, nei pazienti con asma e nei fumatori con spirometria nei limiti della norma ^{9,10}. Alcuni studi hanno mostrato una risposta degli indici oscillometrici alle modifiche della meccanica respiratoria o dopo terapia inalatoria ^{8,11}.

Un altro indice utilizzato per studiare la flusso limitazione è la differenza tra reattanza inspiratoria ed espiratoria a 5 Hz ($\Delta X_{5ins-esp}$), che non deve superare i 2,8 cmH₂O/s/L. Questo parametro è stato correlato alla dispnea e ridotta tolleranza all'esercizio nella BPCO ¹². Nelle patologie restrittive parenchimali, il valore maggiormente compromesso è la reattanza (X5), correlata alla gravità di malattia e alla prognosi ¹³. Molto interessanti sono gli studi sull'applicazione dell'oscillometria durante la ventilazione meccanica invasiva e non invasiva, anche in terapia intensiva neonatale e sui disturbi del sonno (OSAS) ⁵, per il monitoraggio della meccanica polmonare ¹⁴.

La Zrs può essere utilizzata per identificare il reclutamento-dereclutamento del volume polmonare durante la ventilazione, tenendo conto delle proprietà elastiche e inerziali del sistema, e può guidare la titolazione PEEP identificando la PEEP più bassa che mantiene il reclutamento del volume polmonare, riducendo al minimo lo stress meccanico polmonare e portando a una strategia di ventilazione protettiva.

Prospettive future

L'oscillometria è una metodica antica rinata grazie all'evoluzione tecnologica. La sua semplicità di esecuzione, associata alla scarsa collaborazione richiesta al paziente, la rende molto attraente, con alcuni che auspicano possa sostituire la vecchia spirometria, che richiede sforzo sia dal paziente che dall'operatore. Tuttavia, numerosi studi hanno evidenziato che l'oscillometria non riesce a differenziare chiaramente le patologie restrittive da quelle ostruttive e che i risultati delle due metodiche

sono complementari, non sostitutivi. L'oscillometria studia il volume corrente in modo quasi passivo, mentre la spirometria valuta la capacità vitale del paziente in modo dinamico, sfruttando anche gli effetti distorsivi del parenchima polmonare e della compressione dei gas.

Inoltre, l'oscillometria fornisce numerosi parametri che solo recentemente, grazie alle nuove raccomandazioni, sono stati semplificati, ma richiedono ancora alcune implementazioni e standardizzazioni, e una comprensione più dettagliata dei diversi significati da parte della ricerca.

Senza dubbio, la possibilità di studiare le piccole e grandi vie respiratorie, la meccanica respiratoria in inspirazione ed espirazione, e recentemente anche il volume di chiusura, la rende fortemente attrattiva e con grandi potenzialità cliniche.

Ad oggi, tuttavia, la sua reale applicazione clinica è riservata a pochi ambiti, quali il test di broncodilatazione, lo studio delle vie aeree nei bambini, il *follow-up* di alcune patologie e applicazioni come la ventilazione meccanica. Anche se alcuni studi ¹⁵ hanno mostrato che le alterazioni dell'oscillogramma possono essere presenti anche in assenza di alterazioni spirometriche, non è ancora chiaro come interpretare queste alterazioni e quale sia il risvolto clinico-terapeutico. Le ricerche dei prossimi anni saranno essenziali per rispondere a queste domande.

Bibliografia

- 1 DuBois AB, Brody AW, Lewis DH, B. Franklin Burgess JR. Oscillation mechanics of lungs and chest in man. *J Appl Physiol* 1956;587-594. <https://doi/10.1152/jappl.1956.8.6.587>
- 2 King GG, Bates J, Berger KI, et al. Technical standards for respiratory oscillometry. *Eur Respir J* 2020;55:1900753. <https://doi.org/10.1183/13993003.00753-2019>
- 3 Oostveen E, MacLeod D, Lorino H, et al. The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments. *Eur Respir J* 2003;22:1026-1041. <https://doi.org/10.1183/09031936.03.00089403>
- 4 Kistorz-Nosal S, Jastrzębski D, Błach A, Skoczyński S. Window of opportunity for respiratory oscillometry: a review of recent research. *Respir Physiol Neurobiol* 2023;316:104135. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2023.104135>
- 5 Kaminsky DA, Simpson SJ, Berger KI, et al. Clinical significance and applications of oscillometry. *Eur Respir Rev* 2022;31:210208. <https://doi.org/10.1183/16000617.0208-2021>
- 6 Oostveen E, Boda K, Grinten CPM van der, et al. Respiratory impedance in healthy subjects: baseline values and bronchodilator response. *Eur Respir J* 2013;42:1513-1523. <https://doi.org/10.1183/09031936.00126212>
- 7 Liang X, Zheng J, Gao Y, et al. Clinical application of oscillometry in respiratory diseases: an impulse oscillometry registry. *ERJ Open Res* 2022;8:00080-2022. <https://doi.org/10.1183/23120541.00080-2022>

- 8 Di Mango AMGT, Lopes AJ, Jansen JM, Melo PL. Changes in respiratory mechanics with increasing degrees of airway obstruction in COPD: detection by forced oscillation technique. *Respir Med* 2006;100:399-410. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2005.07.005>
- 9 Postma DS, Brightling C, Baldi S, et al.; ATLANTIS study group. Exploring the relevance and extent of small airways dysfunction in asthma (ATLANTIS): baseline data from a prospective cohort study. *Lancet Respir Med* 2019;7:402-416. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(19\)30049-9](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(19)30049-9)
- 10 Ribeiro CO, Faria AC, Lopes AJ, De Melo PL. Forced oscillation technique for early detection of the effects of smoking and COPD: contribution of fractional-order modeling. *Int J Chron Obstruct Pulm Dis* 2018;13:3281-3295. <https://doi.org/10.2147/COPD.S173686>
- 11 Borrill ZL, Houghton CM, Tal-Singer R, et al. The use of plethysmography and oscillometry to compare long-acting bronchodilators in patients with COPD. *Br J Clin Pharmacol* 2008;65:244-252. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2007.03013.x>
- 12 Dellacà RL, Santus P, Aliverti A, et al. Detection of expiratory flow limitation in COPD using the forced oscillation technique. *Eur Respir J* 2004;23:232-240. <https://doi.org/10.1183/09031936.04.00046804>
- 13 Mori Y, Nishikiori H, Chiba H, et al. Respiratory reactance in forced oscillation technique reflects disease stage and predicts lung physiology deterioration in idiopathic pulmonary fibrosis. *Respir Physiol Neurobiol* 2020;275:103386. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2020.103386>
- 14 Dellacà RL, Veneroni C, Vendettuoli V, et al. Relationship between respiratory impedance and positive end-expiratory pressure in mechanically ventilated neonates. *Intensive Care Med* 2013;39:511-519. <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2795-6>
- 15 Veneroni C, Valach C, Wouters EFM, et al. Diagnostic potential of oscillometry: a population-based approach. *Am J Respir Crit Care Med* 2024;209:444-453. <https://doi.org/10.1164/rccm.202306-0975OC>