

Strumenti per la valutazione della funzionalità respiratoria in età pediatrica

Lung function tests in children

Noemi Canale¹, Paolo Del Greco², Paola Di Filippo^{3,*}

* CORRISPONDENZA:

difilippopaola@libero.it

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7336-4292>

Le prove di funzionalità polmonare rappresentano una valutazione oggettiva finalizzata alla misurazione quantitativa dei volumi e flussi polmonari. Ad oggi la spirometria rappresenta il *gold standard* per la valutazione della funzionalità polmonare (1-3) ed è il test di funzionalità respiratoria più utilizzato nella pratica clinica. La spirometria è universalmente raccomandata per la diagnosi, la valutazione e il monitoraggio dell'asma. È possibile eseguire e interpretare la spirometria anche nei bambini in età prescolare (3-5 anni) con patologie respiratorie. La capacità di eseguire la spirometria, come riportato in letteratura, cresce con l'aumentare dell'età del bambino: 45% a 3 anni, 65% a 4 anni e 87% a 5 anni (4). Numerosi studi hanno documentato che l'esame spirometrico è eseguibile e interpretabile nella diagnosi e nel follow-up del bambino con malattie respiratorie fin dai primi anni di vita. Per ottenere un buon risultato è molto importante un setting child-friendly e utilizzare per l'interpretazione dei criteri adattati per l'età. Infatti, i bambini in età prescolare hanno per la maggior parte il limite di non riuscire a soffiare "forte e a lungo", o soffiano forte o a lungo (5, 6). Inoltre, sono sempre più i bambini cosiddetti *children with medical complexity*, una popolazione da cui non sempre si riesce ad ottenere collaborazione o che non hanno la capacità di compiere manovre forzate, rendendo necessario l'impiego di tecniche più affini alla fisiologia respiratoria. I parametri della spirometria sono standardizzati in funzione di peso, altezza, età, sesso, etnia e vengono influenzati da fattori ambientali, cooperazione e sforzo del paziente e fattori tecnici (2, 3).

Nell'update del 2019 dell'*American Thoracic Society* e della *European Respiratory Society* è stato redatto un aggiornamento degli standard tecnici per la corretta esecuzione della spirometria. Le quattro fasi di manovra della capacità vitale forzata (FVC) prevedono: inspirazione rapida e massima con le labbra strettamente intorno al boccaglio, una espirazione massimale, un'espirazione prolungata di 6 secondi (almeno 3 secondi nei bambini più piccoli) ed infine una inspirazione completa (7). Viene consigliato di applicare uno stringinaso durante l'esecuzione della prova per evitare l'espirazione attraverso il naso. È consigliabile eseguire massimo 8 manovre complete in una sessione (7) al fine di ottenere almeno tre valori di volume espiratorio forzato in 1 secondo (FEV₁) ed FVC accettabili e riproducibili, ovvero con una differenza tra due FVC <0,150 L e tra due FEV₁ <0,150 L (7). La riproducibilità è un indicatore del fatto che il paziente ha eseguito la sua maggiore espirazione forzata.

DOI

10.63304/PneumolPediatri.2025.15

¹ UO Pediatria, Azienda Ospedaliero Universitaria Locale Arcispedale Sant'Anna, Ferrara, Italia

² SOSD Broncopneumologia IRCCS AOU Meyer, Università di Firenze, Firenze, Italia

³ Centro di Pneumologia Pediatrica, Ospedale SS. Annunziata, Università di Chieti, Chieti, Italia

PAROLE CHIAVE

Spirometria; oscillometria ad impulsi; funzionalità polmonare.

KEY WORDS

Spirometry; impulse oscillometry; pulmonary function.

Se vengono rispettati i criteri di riproducibilità ed accettabilità del test, le principali variabili della curva flusso/volume da valutare per verificare la funzione polmonare sono il FEV₁, l'FVC e il rapporto FEV₁/FVC (**Figura 1**). Questi parametri ci consentono di identificare un quadro ostruttivo, restrittivo o misto. I *cut-off* per questi parametri sono valutati in funzione della percentuale del predetto (valore atteso per età, sesso, peso, altezza ed etnia) o in base allo z-score. Il test di broncodilatazione è considerato positivo quando si ottiene un aumento del FEV₁ $\geq 12\%$ e di ≥ 200 ml rispetto al valore basale del FEV₁, dopo somministrazione di 400 mcg di salbutamolo. Recentemente, l'*American Thoracic Society* e l'*European Respiratory Society* hanno definito la broncodilatazione significativa in caso di incremento di FEV1 o FVC maggiore del 10% (**3**).

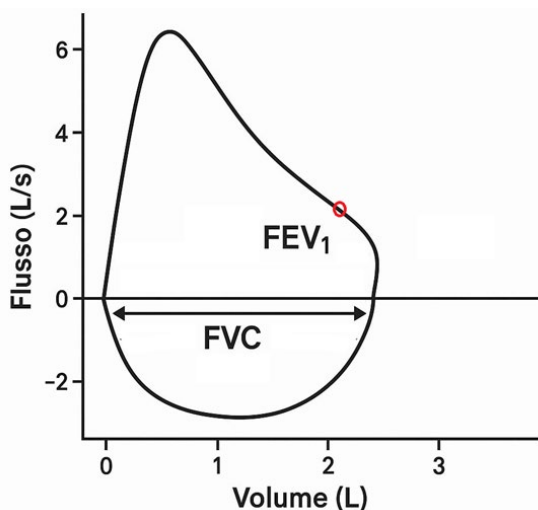


Figura 1. Rappresentazione di una normale curva flusso/volume. La Capacità Vitale Forzata (FVC) è il volume totale di aria che un individuo può espirare con uno sforzo massimale dopo aver inspirato profondamente. Il Volume Espiratorio Forzato in 1 secondo (FEV₁) indica il volume di aria espirata con uno sforzo massimale nel primo secondo di espirazione dopo una inspirazione profonda.

La spirometria non rispecchia completamente la disfunzione delle piccole vie aeree, segno distintivo dell'asma. Questo limite, insieme alla difficoltà nell'esecuzione di una manovra forzata nella popolazione pediatrica e nei pazienti complessi, ha portato alla diffusione di metodiche alternative come la tecnica dell'oscillometria ad impulsi (IOS) che permette di utilizzare la respirazione a volume corrente.

IOS richiede uno sforzo minimo del paziente, non è invasiva e fornisce informazioni sia sulle vie aeree di grande che di piccolo calibro. Necessitando di una respirazione a volume corrente, IOS richiede una cooperazione minima e può essere ottenuta in modo riproducibile in una grande percentuale di bambini di età pari o superiore a 3 anni, *children with medical complexity* e pazienti con problemi di coordinazione (**1**).

L'esame consiste nell'applicazione di un'onda oscillatoria ad alta frequenza nelle vie aeree tramite una maschera facciale, che può quindi essere utilizzata per valutare l'impedenza attraverso le vie aeree. Essendo l'impedenza l'inverso della resistenza, è possibile rilevare la resistenza (Rrs) e la reattanza (Xrs) del sistema respiratorio. La resistenza ad alte frequenze (Rrs 20Hz) riflette principalmente la resistenza delle vie aeree superiori, mentre la resistenza a frequenze più basse (Rrs 5Hz) riflette l'intero sistema respiratorio e le piccole vie aeree (**2**). Il test di broncodilatazione si considera positivo per una riduzione del Rrs5 (resistenze delle piccole vie aeree) $\geq 40\%$ ed un aumento della reattanza (compliance polmonare) $\geq 50\%$; tuttavia questi parametri sono ancora in fase di definizione.

IOS si è dimostrata un valido strumento per rilevare la presenza di ostruzione delle vie aeree anche in soggetti con valori spirometrici normali. Si è rivelata particolarmente utile nella valutazione della funzione delle piccole vie aeree, ambito in cui la spirometria tradizionale mostra dei limiti, soprattutto considerando che il parametro FEF 25-75%, comunemente utilizzato per questo scopo, è altamente variabile e poco riproducibile (**3**). Inoltre, IOS ha mostrato una promettente capacità predittiva a lungo termine, contribuendo all'identificazione precoce dei soggetti a rischio di progressione della malattia respiratoria e di perdita di controllo clinico (**1**). Pertanto, IOS è stata recentemente suggerita come alternativa ai comuni test di funzionalità polmonare oppure come test complementare ad esse nella gestione dei bambini con malattia polmonare (**1**). Nonostante le sue potenzialità, i valori di riferimento devono essere validati su popolazioni più ampie (**2**) e IOS ad oggi non risulta ancora inclusa nelle principali linee guida nazionali e internazionali (**1**). Le principali caratteristiche delle due metodiche sono riportate in **Tabella 1**.

La pletismografia è un esame di funzionalità respiratoria che fornisce informazioni aggiuntive, in quanto misura i volumi polmonari e la resistenza delle vie aeree. In una cabina chiusa, progettata per creare una pressione costante e per misurare i cambiamenti di volume che si verificano durante la respirazione, vengono misurate la resistenza specifica delle vie aeree (sRaw) e

Tabella 1. Principali differenze tra spirometria e oscillometria a impulsi.

	Spirometria	Oscillometria ad impulsi
Tipo di test	Attivo	Passivo
Respirazione richiesta	Espirazione forzata	Respirazione a volume corrente
Popolazione	Età ≥ 3 anni	Bambini piccoli, pazienti poco collaboranti o con patologia (es. neuromuscolari)
Parametri misurati	FEV ₁ , FVC, FEV ₁ /FVC, FEF 25-75	Rrs5, Rrs20, Rrs5-20, Xrs5, AX, Fres
Broncodilatazione	Applicabile, con parametri standardizzati	Applicabile, <i>cut-off</i> in corso di standardizzazione
Test di provocazione	Applicabile, con parametri standardizzati	Applicabile, <i>cut-off</i> in corso di standardizzazione
Facilità di esecuzione e riproducibilità	Bassa, richiede <i>training</i> del paziente	Alta
Ruolo diagnostico	<i>Gold standard</i>	Complementare o alternativo a spirometria
Implementazione clinica	Standardizzato e diffuso	In crescita, in fase di studio

i volumi polmonari (capacità residua funzionale, volume residuo e capacità polmonare totale (TLC)). Questo test è utile per identificare e quantificare l'ostruzione delle vie aeree nell'asma e a valutare l'efficacia del trattamento, monitorando l'evoluzione della malattia polmonare (8). La pletismografia aiuta inoltre a differenziare tra disturbi ventilatori restrittivi, restrittivi/ostruttivi combinati e pseudo-restrittivi. Ad esempio, TLC al di sotto del limite inferiore della norma può essere indicativa di malattia polmonare restrittiva (8).

In conclusione, sebbene la spirometria resti il *gold standard* per la diagnosi di ostruzione del flusso ae-

reo, IOS rappresenta un valido strumento complementare, in grado di offrire informazioni aggiuntive sulla funzionalità delle vie aeree periferiche. Questo è particolarmente utile nei pazienti che presentano sintomi respiratori nonostante una spirometria normale, o in quelli a rischio di esacerbazioni o deterioramento della funzione polmonare. La pletismografia, inoltre, fornisce informazioni aggiuntive per meglio definire la patologia ostruttiva polmonare e per la diagnosi differenziale con le patologie restrittive, grazie alla valutazione delle resistenze e dei volumi polmonari.

BIBLIOGRAFIA

- Ducharme FM, Chan R. Oscillometry in the diagnosis, assessment, and monitoring of asthma in children and adults. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2025; 134(2):135-143. doi: 10.1016/j.anai.2024.11.013.
- Jat KR, Agarwal S. Lung Function Tests in Infants and Children. *Indian J Pediatr* 2023; 90(8):790-797. doi: 10.1007/s12098-023-04588-8.
- Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller MR, Thompson B, Aliverti A, Barjaktarevic I, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur Respir J* 2022;60(1):2101499. doi: 10.1183/13993003.01499-2021.
- Calogero C, Fenu G, Turchetta A. In: Tancredi G, Calogero C, La Grutta S, a cura di. *La spirometria in età pediatrica*. Nuova edizione. Roma: Carocci Editore S.p.A.; 2024.
- Beydon N, Davis SD, Lombardi E et al. An Official American Thoracic Society/European Respiratory Society Statement: Pulmonary Function Testing in Preschool Children. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007;175:1304-1345.
- Kozłowska WJ, Aurora P. Spirometry in the pre-school age group. *Paediatr Respir Rev*. 2005; 6 (4): 267-272.
- Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med* 2019;200(8):e70-e88. doi: 10.1164/rccm.201908-1590ST.
- AM Ring, J Carlens, A Bush, S Castillo-Corullón, S Fasola, MP Gaboli, et al. Pulmonary function testing in children's interstitial lung disease. *Eur Respir Rev* 2020; 29(157): 200019.