



Pneumologia Pediatria

Rivista Ufficiale della Società Italiana per
le Malattie Respiratorie Infantili - SIMRI

99/2025

Educare, prevenire e misurare: un'opportunità per costruire salute, conoscenza e consapevolezza in età scolare	65
Strumenti per la valutazione della funzionalità respiratoria in età pediatrica	67
La funzionalità respiratoria dall'età prescolare all'età scolare	70
Fumo, svapo e salute respiratoria dei bambini: evidenze aggiornate sugli effetti dell'esposizione prenatale e postnatale	80
I disturbi respiratori del sonno in età pediatrica	88
Asma in età pediatrica e sport: indicazioni essenziali nella pratica clinica	99

DIRETTORE SCIENTIFICO

Elisabetta Bignamini (Torino, Italia)

COORDINATRICE COMITATO EDITORIALE

Maria Elisa Di Cicco (Pisa, Italia)

ASSOCIATE EDITORS

Ahmad Kantar (Bergamo, Italia)

Ugo Pradal (Rovereto, Italia)

Rivista ufficiale della Società Italiana per
le Malattie Respiratorie Infantili - SIMRI



Via G. Quagliariello 27,
80131 Napoli, Italia
Tel. 081 19578490
Fax 081 19578071
segreteria@simri.it
www.simri.it

CHIEF BUSINESS & CONTENT OFFICER

Ludovico Baldessin

EDITORIAL COORDINATOR

Barbara Moret

PUBLISHING EDITOR

Greta Schincaglia

editorialoffice@pneumologiapediatrica.it

SALES

dircom@lswr.it

Ph. 0039 (0)2-88184.404

COMITATO EDITORIALE

Carlo De Pieri (Treviso, Italia)

Paolo Del greco (Firenze, Italia)

Paola Di Filippo (Chieti, Italia)

Emanuela Di Palmo (Bologna, Italia)

Valentina Fainardi (Parma, Italia)

Valentina Ferraro (Padova, Italia)

Michele Ghezzi (Milano, Italia)

Angela Klain (Napoli, Italia)

Enrica Mancino (Roma, Italia)

Sara Manti (Messina, Italia)

Giuseppe Marchese (Val Camonica, Italia)

Alessandro Onofri (Roma, Italia)

Paolo Rosso (Torino, Italia)

Laura Tenero (Verona, Italia)

Valentina Tranchino (Bari, Italia)

Alessandro Volpini (Ancona, Italia)



EDRA S.p.A.
via G. Spadolini, 7
20141 Milan, Italy
Ph. 0039 (0)2-88184.1
Fax 0039 (0)2-88184.301
www.edraspa.it

Registrazione del Tribunale di Pisa
n. 12 del 2002

© Copyright 2025 SIMRI
Pubblicato da EDRA S.p.A.

EDITORIALE

Educare, prevenire e misurare: un'opportunità per costruire salute, conoscenza e consapevolezza in età scolare

Educating, Preventing, and Measuring: Strategic Opportunities to Foster Health, Knowledge, and Awareness in School-Age Children

Elisabetta Bignamini ^{1,*}, Maria Elisa Di Cicco ^{2,3}

* CORRISPONDENZA:

elisabetta.bignamini@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7554-9961>

L'età scolare rappresenta l'inizio del percorso di autodeterminazione del bambino e della bambina nelle scelte di vita e di salute, che costituiranno le basi della loro esistenza da adolescenti e, successivamente, da adulti. In questa fase, infatti, si consolida quel bagaglio culturale, fisico, sociale e sanitario che li accompagnerà nel tempo e che sarà plasmato anche dall'intervento dei professionisti della salute, in particolare dei pediatri, che si prenderanno cura di loro.

È nello spazio del "prenderci cura" che trovano luogo il misurare la funzione respiratoria, l'educare i bambini e i loro genitori sulle comuni problematiche respiratorie dell'età evolutiva e il prevenire le abitudini che possono nuocere alla salute. Questo fascicolo di *Pneumologia Pediatrica*, dedicato all'età scolare, richiama l'attenzione sulle possibilità che la tecnologia offre nel campo della misurazione della funzionalità respiratoria, sia in veglia (1) sia durante il sonno (2), evidenziando indicazioni, diagnosi e opzioni terapeutiche.

In un ciclo di Deming che si ripete continuamente, il processo volto a offrire cure sempre migliori, passa proprio attraverso il misurare: solo così possiamo rendere oggettivo un fenomeno, confrontarlo nel tempo e verificare se gli obiettivi di salute che ci siamo posti siano stati effettivamente raggiunti.

L'esempio più semplice è la valutazione del FEV₁ nella terapia dell'asma. Chiedendo agli scettici sulla validità assoluta di questo indice surrogato, di sospendere per un attimo le loro perplessità e di seguire il pensiero che qui si vuole rappresentare, vogliamo porre queste domande: quante volte, nella nostra pratica clinica, abbiamo iniziato o modificato terapie in base a questa misura? Abbiamo formulato diagnosi, redatto linee guida, che tenessero conto del "numero" del FEV₁?

Di fatto, non è possibile sottrarsi al valore di questo parametro, appellandosi esclusivamente alla propria "esperienza clinica". Solo la misurazione consente una valutazione fondata e condivisibile dello stato clinico.

Educazione e prevenzione sono alla base degli argomenti affrontati nella rubrica "La Volpe e il Riccio" (3), mentre una revisione specifica è dedicata ai problemi legati al fumo e all'uso delle sigarette elettroniche (4), in cui la prevenzione deve partire proprio da questa fascia di età.

DOI

10.63304/PneumolPediatri.2025.14

¹ Pneumologo pediatra, Torino, Italia.
Direttore Scientifico Pneumologia
Pediatria

² Ambulatorio di Pneumologia e
Allergologia Pediatrica, U.O. di
Pediatria, Azienda Ospedaliero
Universitaria Pisana, Pisa, Italia

³ Dipartimento di Medicina Clinica
e Sperimentale, Università di Pisa,
Pisa, Italia

PAROLE CHIAVE

*Età scolare; prevenzione;
educazione sanitaria;
determinanti della salute.*

KEY WORDS

*School-age children; prevention;
health education; health
determinants.*

L'educare e il prevenire non possono essere azioni estemporanee, isolate, saltuarie: sono un processo continuo, che guida ed accompagna il bambino e la bambina durante la propria crescita fisica, cognitiva ed emotiva.

Per questo è importante che il pediatra, con la propria competenza professionale e il continuo aggiornamento scientifico, assuma un ruolo attivo nello sviluppo della "health literacy" nei bambini e nelle bambine, in collaborazione con le famiglie e gli altri attori della società civile coinvolti nell'educazione.

La responsabilità è grande ed è un momento della vita irripetibile, in cui si può tracciare una via concreta per

ridurre le disuguaglianze sociali legate ai determinanti della salute, valorizzare la variabilità individuale e il contesto ambientale, promuovere lo sviluppo delle competenze personali e sostenere il diritto alla partecipazione attiva dei bambini e delle bambine nelle scelte che riguardano la loro vita e la loro salute (5).

L'augurio è che la lettura di questo numero di *Pneumologia Pediatrica* sia veicolo di pensiero, oltre che di nozioni, e rafforzi o costruisca la volontà di misurare, educare e prevenire, in un'ottica di presa in carico globale per accompagnare ogni bambino e bambina, che incontriamo sul nostro cammino professionale, verso una vita più sana e consapevole.

BIBLIOGRAFIA

1. Migliorati C, Lombardi E, Calogero C. La funzionalità respiratoria dall'età prescolare all'età scolare. *Pneumol Pediatr.* 2025;25(99):70-79. doi: 10.63304/PneumolPediatr.2025.16.
2. Basilicata S, Borrelli M, Amaddeo A. I disturbi respiratori del sonno in età pediatrica. 2025;25(99):88-98. doi: 10.63304/PneumolPediatr.2025.18.
3. Tranchino V, Klain A, Rosso P, Ghezzi M, Marchese G. Asma in età pediatrica e sport: indicazioni essenziali nella pratica clinica. *Pneumol Pediatr.* 2025;25(99):99-101. doi: 10.63304/PneumolPediatr.2025.17.
4. Malizia V, Ferrante G, Pandolfo A, Perri A, Lazzara L, Sapienza F, et al. Fumo, svapo e salute respiratoria dei bambini: evidenze aggiornate sugli effetti dell'esposizione prenatale e postnatale. 2025;25(99):80-87. doi: 10.63304/PneumolPediatr.2025.17.
5. Bröder J, Okan O, Bauer U, Schlupp S, Pinheiro P. Advancing perspectives on health literacy in childhood and youth. *Health Promot Int.* 2020;35(3):575-585. doi: 10.1093/heapro/daz041.

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/PneumolPediatr.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**).

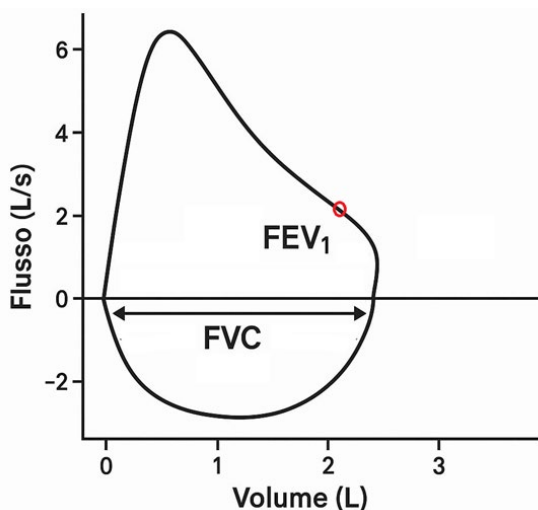


Figura 1. Rappresentazione di una normale curva flusso/volume. La Capacità Vitale Forzata (FVC) è il volume totale di aria che un individuo può espirare con uno sforzo massimale dopo aver inspirato profondamente. Il Volume Espiratorio Forzato in 1 secondo (FEV₁) indica il volume di aria espirata con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

REVISIONE

La funzionalità respiratoria dall'età prescolare all'età scolare

Lung function from preschool to school age

Chiara Migliorati¹, Enrico Lombardi², Claudia Calogero^{2,*}

* CORRISPONDENZA:

claudia.calogero@meyer.it

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7397-7395>

DOI

10.63304/PneumolPediatr.2025.16

¹ SCDU Pediatria, Università del Piemonte Orientale, AUO Maggiore della Carità, Novara, Italia

² SODS Broncopneumologia, AUO Anna Meyer, IRCCS, Firenze, Italia

RIASSUNTO

La valutazione della funzionalità respiratoria rappresenta un elemento cardine nella diagnosi, monitoraggio e gestione delle malattie respiratorie pediatriche. Negli ultimi anni l'attenzione della comunità scientifica si è orientata verso l'anticipazione della diagnosi funzionale, promuovendo lo sviluppo di metodiche e strumenti adattati anche ai bambini più piccoli. Il presente lavoro si propone di esaminare lo stato attuale della valutazione funzionale respiratoria nei bambini nel passaggio critico dal prescolare allo scolare.

ABSTRACT

Lung function assessment is a key element in diagnosis, monitoring and management of pediatric respiratory diseases. In recent years, the scientific community has focused on anticipating functional diagnosis from early age, promoting the development of methods and tools adapted to younger children. The present work aims to examine the current state of lung function evaluation focusing to the critical period that goes from preschool to school age.

INTRODUZIONE

La valutazione della funzionalità respiratoria rappresenta un elemento cardine nella diagnosi, monitoraggio e gestione delle malattie respiratorie pediatriche. Tradizionalmente, l'esecuzione di test funzionali respiratori, in particolare la spirometria, è stata riservata ai bambini in età scolare, in virtù della necessità di una collaborazione attiva e strutturata da parte del paziente durante le manovre. Tuttavia, negli ultimi anni, l'attenzione della comunità scientifica si è progressivamente orientata verso l'anticipazione della diagnosi funzionale, promuovendo lo sviluppo di metodiche e strumenti adattati anche alla popolazione in età prescolare. Tale spinta è derivata dalla crescente consapevolezza che molte patologie respiratorie croniche si manifestano clinicamente già fin dai primi anni di età e che la presenza di alterazioni funzionali precoci può avere un impatto duraturo sullo sviluppo polmonare e sulla qualità della vita del paziente.

Obiettivo della revisione

Il presente lavoro si propone di esaminare lo stato attuale della valutazione funzionale respiratoria nei bambini, con particolare attenzione al passaggio critico dal prescolare allo scolare. Questa è una fase particolarmente delicata, in cui lo svi-

PAROLE CHIAVE

Prove di funzionalità respiratoria; età pediatrica; prescolare; scolare; malattie respiratorie.

KEY WORDS

Lung function; pediatric; preschoolers; school age; respiratory diseases.

luppo anatomico, fisiologico e cognitivo del bambino si riflette in modo significativo sulla possibilità di eseguire test funzionali standardizzati. Verranno esplorate le tecniche attualmente disponibili, le loro applicazioni cliniche, i limiti ancora esistenti e le prospettive future in un'ottica di prevenzione, personalizzazione e miglioramento della cura dei piccoli pazienti affetti da patologie respiratorie. Particolare attenzione deve essere dedicata ai criteri di accettabilità e ripetibilità dei test, alla necessità di valori di riferimento specifici per fasce d'età e all'importanza della formazione del personale sanitario dedicato all'esecuzione delle prove nei più piccoli. Saranno infine discusse le prospettive future offerte dall'innovazione tecnologica, dall'uso dell'intelligenza artificiale e dall'adozione di un approccio sempre più centrato sul paziente. L'obiettivo finale è contribuire alla costruzione di un modello di cura personalizzato, in grado di migliorare in modo significativo la qualità dell'assistenza fornita ai bambini affetti da patologie respiratorie, a partire dalle prime fasi dello sviluppo.

FUNZIONALITÀ RESPIRATORIA IN ETÀ PRESCOLARE

Nel percorso di valutazione della funzionalità respiratoria in età pediatrica, soprattutto nei bambini in età prescolare, è fondamentale disporre di una varietà di metodiche diagnostiche che permettano di adattare l'indagine alle capacità del paziente e al quesito clinico. La valutazione della funzionalità respiratoria nei bambini in età prescolare è sempre stata considerata complessa, principalmente a causa della limitata capacità di collaborazione tipica di questa fascia d'età e della conseguente difficoltà nell'ottenere manovre respiratorie forzate tecnicamente accettabili e ripetibili. In risposta a queste limitazioni, sono state sviluppate metodiche alternative, denominate "tecniche a collaborazione passiva", che consentono di effettuare misurazioni durante la respirazione spontanea del bambino, a volume corrente, senza la necessità di sedazione. Nel 2007 è stato pubblicato un documento congiunto da parte dell'*American Thoracic Society* (ATS) e della *European Respiratory Society* (ERS) con l'obiettivo di fornire indicazioni specifiche per la misurazione della funzionalità respiratoria nei bambini in età prescolare (1). Successivamente, nel 2013, lo stesso gruppo ha pubblicato un report dedicato alle applicazioni cliniche di tali metodologie, sottolineando le potenzialità e i limiti delle tecniche disponibili in questa fascia d'età (2). La ricerca scientifica ha continuato, in seguito, ad approfondire questo ambito, con l'obiettivo di migliorare la diagnosi e il monitoraggio delle patologie respiratorie in

età prescolare. I recenti documenti di standardizzazione delle più comuni tecniche di funzionalità respiratoria (spirometria, oscillometria) coprono adesso anche l'età prescolare (3, 4) e l'ATS ha pubblicato un documento di standardizzazione del Multiple-Breath Washout (MBW) specifico per l'età prescolare (5). Inoltre, uno studio del 2023 ha proposto strategie pratiche per ottimizzare l'esecuzione dei test di funzionalità respiratoria nei bambini in età prescolare, sottolineando l'importanza di un approccio creativo per coinvolgere i piccoli pazienti e ridurre la loro ansia (6). Gli autori suggeriscono l'utilizzo di ambienti a misura di bambino, un linguaggio familiare, elementi di *gamification*, ossia tipici del gioco, come strumenti efficaci per migliorare l'esperienza diagnostica. Tali accorgimenti possono contribuire ad una maggiore collaborazione da parte del bambino ed a una migliore qualità dei dati raccolti (6).

Questo lavoro ha l'obiettivo di approfondire la misurazione della resistenza respiratoria con la tecnica dell'interruzione del flusso (Rint), la tecnica delle oscillazioni forzate (oscillometria), la misurazione delle resistenze specifiche delle vie aeree tramite pletismografia corporea (sRaw), il *washout* dell'azoto (Nitrogen MBW) e, infine, la spirometria adattata alla popolazione pediatrica in età prescolare.

Tecnica dell'interruzione

La tecnica dell'interruzione, descritta per la prima volta nel 1927 (7), è stata sviluppata negli anni '70-'90 per superare le difficoltà di collaborazione tipiche dell'età prescolare. Questa metodica si basa sull'interruzione istantanea del flusso aereo durante la respirazione spontanea mediante un sistema a valvola e sulla misurazione del flusso (V') subito prima dell'interruzione (o subito dopo, nella variante "opening") e della pressione (P) alla bocca durante l'interruzione. In questo modo, è possibile calcolare la resistenza del sistema respiratorio ("interrupter resistance" Rint) tramite la formula $P/V'=R$. Rint rappresenta la somma delle resistenze delle vie aeree, del tessuto polmonare e della parete toracica. La misurazione si basa su alcuni assunti fisiologici fondamentali (1):

- al momento dell'interruzione del flusso la pressione misurata alla bocca si eguaglia rapidamente alla pressione alveolare;
- la chiusura della valvola è quasi istantanea (<10 millisecondi (ms)), riducendo al minimo le perdite di pressione e rendendole trascurabili;
- la compliance delle vie aeree superiori è trascurabile e non influenza significativamente la misurazione della pressione alla bocca.

Grazie alla sua semplicità, non invasività e breve durata, questa metodica è particolarmente indicata per l'impiego nei bambini in età prescolare, che spesso non sono in grado di eseguire manovre respiratorie complesse. Numerosi studi hanno impiegato il dispositivo MicroRint (Micro Medical Ltd, Rochester, Regno Unito) per la misurazione della resistenza respiratoria mediante la tecnica dell'interruzione nei bambini. Tuttavia, tale dispositivo non è più in produzione. Esistono sul mercato altri dispositivi che hanno caratteristiche tecniche comparabili e rappresentano un'alternativa attualmente disponibile. Uno studio pubblicato nel 2022 ha confrontato le prestazioni del MicroRint con quelle del modulo Rocc applicato sul dispositivo Pony (Cosmed, Roma, Italia), evidenziando una differenza statisticamente significativa nei valori di Rint misurati; nonostante ciò, la differenza media riscontrata è risultata di entità modesta e presumibilmente priva di rilevanza clinica (8).

L'interruzione deve durare non più di 100 ms (1) e deve avvenire in corrispondenza del picco di flusso espiratorio durante la respirazione a volume corrente (1). Il calcolo del valore di Rint può essere effettuato secondo due principali approcci: *tecnica classica*, che si basa sul rapporto tra la pressione misurata all'inizio dell'interruzione e il flusso misurato immediatamente prima dell'interruzione; *tecnica "opening"*, fondata sul rapporto tra la pressione misurata alla fine dell'interruzione e il flusso misurato immediatamente dopo la riapertura della valvola. Per garantire l'affidabilità della misurazione, si raccomanda l'esecuzione di almeno 10 manovre di interruzione, dalle quali devono derivare almeno 5 prove tecnicamente accettabili (1). Il valore finale di Rint riportato è rappresentato dalla mediana dei valori considerati validi (1).

La tecnica dell'interruzione è stata dimostrata in grado di rilevare una funzione polmonare compromessa in una coorte di bambini nati prematuramente (9) e di misurare la risposta alla dose di salbutamolo nei bambini in età prescolare affetti da crisi asmatiche (10). Inoltre, uno studio di coorte prospettico ha mostrato che i bambini appartenenti al terzile più basso di livelli di 25-hydroxyvitamin D (25(OH)D) al momento della nascita presentavano una maggiore resistenza delle vie aeree rispetto a quelli nel terzile più alto (11). Tuttavia, questa associazione si attenuava dopo l'aggiustamento per i livelli attuali di 25(OH)D del bambino; bassi livelli di 25(OH)D al momento della nascita sarebbero, pertanto, associati a una maggiore resistenza delle vie aeree nell'infanzia, suggerendo un possibile impatto sulla funzionalità polmonare (11). È stato anche dimostrato che la risposta al broncodilatatore utilizzando Rint può essere

in grado di predire la risposta clinica ad una terapia di fondo con steroide inalatorio in bambini in età prescolare (12). La tecnica dell'interruzione offre, pertanto, una valutazione utile e ripetibile delle resistenze respiratorie nei bambini in età prescolare, con applicazioni cliniche significative nella diagnosi e nel monitoraggio delle malattie respiratorie (2).

Tecnica delle oscillazioni forzate (oscillometria)

Anche la tecnica delle oscillazioni forzate (FOT), oggi definita oscillometria (4), è una metodica non invasiva che consente di misurare la meccanica respiratoria durante la respirazione spontanea, senza necessitare di manovre forzate. Consente di valutare l'impedenza del sistema respiratorio (Zrs) nelle sue due componenti: la resistenza (Rrs, interpretabile come l'attrito incontrato dall'aria all'interno delle vie aeree) e la reattanza (Xrs, interpretabile come compliance o distensibilità a frequenze basse e come inerzia del sistema respiratorio a frequenze alte). Si basa sull'applicazione, durante la respirazione spontanea, di un segnale pressorio oscillatorio esterno, generato da un altoparlante a frequenze predeterminate. Il sistema respiratorio, in quanto sistema meccanico con una propria frequenza di risonanza, risponde a tale stimolazione con un'oscillazione misurabile, che riflette le caratteristiche meccaniche del sistema stesso. Il segnale oscillatorio inviato può assumere diverse forme: onde sinusoidali (con frequenze singole o multiple, come nello pseudo-random noise) oppure onde rettangolari (come nell'Impulse Oscillometry System -IOS-, anche in questo caso con frequenze singole o multiple) (4).

I segnali vengono somministrati durante la respirazione a volume corrente. A livello della bocca, flusso e pressione vengono registrati simultaneamente, e l'elaborazione dei dati avviene in tempo reale. Il software restituisce il valore di Zrs, definita come la relazione tra pressione applicata e variazioni di flusso, con i valori di Rrs e Xrs alle varie frequenze. Frequenze basse (5-8 Hz) forniscono informazioni sulla totalità delle vie aeree (periferiche + centrali), frequenze più alte (intorno ai 20 Hz) forniscono informazioni sulle vie aeree centrali, e l'analisi "within-breath" offre una valutazione distinta tra fase inspiratoria e espiratoria (4).

L'oscillometria richiede precisi criteri di accettabilità e ripetibilità per garantire l'affidabilità dei risultati. Dopo la corretta calibrazione dello strumento, la misurazione di Rrs e Xrs deve essere eseguita prima di eventuali test che richiedano respiri profondi, come la spirometria, l'ossido nitrico espirato (FeNO) o la diffusione alveolo-ca-

Tabella 1. Criteri di accettabilità e ripetibilità per la tecnica delle oscillazioni forzate.

Criteri di accettabilità	- calibrazione dello strumento - misurazione delle resistenze prima degli altri test - selezione negativa degli artefatti - elaborazione automatica del segnale - tempo minimo di acquisizione di 30s per adolescenti e adulti, 16s bambini sotto i 12 anni di età
Criteri di ripetibilità	- 3 misurazioni accettabili e ripetibili - <i>cut-off</i> di CoV di Rrs $\leq 10\%$ negli adulti e $\leq 15\%$ nei bambini

pillare del monossido di carbonio (DLCO), per evitare alterazioni del tono bronchiale. Durante la registrazione, devono essere esclusi i respiri ritenuti non fisiologici o artefatti, come quelli influenzati da deglutizione, chiusura delle corde vocali, tosse, posizione scorretta della lingua, perdite d'aria dalla bocca, altri artefatti delle alte vie aeree. Il primo livello di controllo consiste in un'ispezione visiva dell'andamento delle curve. Il secondo è fornito da un algoritmo automatico di elaborazione del segnale, in grado di identificare e scartare automaticamente i tracciati artefatti, sulla base di criteri statistici e fisiologici (ad esempio, arresti o brusche variazioni di flusso) (4).

La durata della misurazione deve essere breve per evitare artefatti dovuti a movimenti o affaticamento, ≥ 30 secondi in adolescenti e adulti, ≥ 16 secondi nei bambini < 12 anni, sufficienti per ottenere almeno 3 respiri accettabili. Per ogni sessione, sono raccomandate almeno 3 misurazioni accettabili e ripetibili, e i valori sono espressi come media delle 3 o più misurazioni (4). La variabilità tra misurazioni influisce sull'affidabilità del risultato finale; pertanto, è importante rispettare i criteri del coefficiente di variabilità (CoV) per Rrs alla frequenza più bassa (tipicamente 5 Hz): $\leq 10\%$ negli adulti, $\leq 15\%$ nei bambini. I criteri di accettabilità e ripetibilità sono riassunti nella **Tabella 1**.

Un'indagine condotta su 163 bambini sani italiani di età compresa tra 2,9 e 6,1 anni ha riportato un Coefficiente di Ripetibilità (CR) tra due misurazioni effettuate a 15 minuti di distanza di $1,53 \text{ hPa}\cdot\text{s}\cdot\text{L}^{-1}$ per Rrs a 8 Hz e $0,91 \text{ hPa}\cdot\text{s}\cdot\text{L}^{-1}$ per Xrs a 8 Hz (13).

Studi recenti hanno evidenziato che l'oscillometria è efficace nel monitorare la reversibilità bronchiale nei bambini con asma. In particolare, uno studio condotto su 102 bambini di età compresa tra 2 e 6 anni ha mostrato che l'oscillometria è in grado di rilevare significativi cambiamenti nei parametri respiratori dopo somministrazione di salbutamolo, con sensibilità del 71,6% e specificità del 74,5% (14). Una review sistematica dei dati in letteratura sulla risposta al broncodilatatore (BDR) ha evidenziato che i valori di BDR variano ampiamen-

te tra le diverse tecniche impiegate per la valutazione della funzionalità polmonare in età prescolare, rendendo difficile stabilire una soglia universale per i bambini di tale età; tuttavia, la tecnica dell'oscillometria ha mostrato una maggiore coerenza nei risultati rispetto alla spirometria (15).

L'utilizzo dell'oscillometria, basata su una respirazione a volume corrente (*tidal breathing*), presenta, pertanto, notevoli vantaggi nella diagnosi e nella gestione delle malattie respiratorie in età pediatrica, in particolare nei bambini in età prescolare, dove i tassi di successo dei test di funzionalità respiratoria più complessi risultano ancora limitati. Ad esempio, in un gruppo di bambini nati molto pretermine, il 93% di loro è riuscito ad eseguire misurazioni di oscillometria accettabili e ripetibili all'età di 4 anni. Al contrario, nella stessa popolazione, i tassi di successo erano significativamente inferiori per altre metodiche: 30% per il volume espiratorio forzato nel primo secondo (FEV₁), 23% per la capacità vitale forzata (FVC), 4% per la pletismografia e 0% per la misurazione della diffusione alveolo-capillare (DLCO) (16). Inoltre, nelle fasi precoci delle malattie respiratorie, le alterazioni patologiche sono spesso lievi e localizzate prevalentemente a livello delle vie aeree periferiche, la cosiddetta "zona silente", che tende a sfuggire alla rilevazione tramite spirometria. In questo contesto, l'oscillometria può fornire informazioni precoci e rilevanti sullo stato funzionale polmonare nei bambini. Tuttavia, la capacità dell'oscillometria di discriminare tra condizioni fisiologiche e patologiche nei bambini più piccoli dipende sia dalla popolazione patologica studiata, sia dall'indice oscillometrico utilizzato per l'analisi (2).

L'oscillometria si è rivelata utile in diverse condizioni cliniche:

- **Patologie polmonari associate alla prematurità:** l'oscillometria è una metodica efficace e pratica per il monitoraggio della funzionalità respiratoria nei bambini in età prescolare nati prematuramente. Questi bambini mostrano sistematicamente un aumento di Rrs, una più negativa Xrs, un incremento dell'area della reattanza (AX) e della fre-

quenza di risonanza (questi ultimi tre reperti indicano una riduzione della compliance del sistema respiratorio) rispetto ai coetanei nati a termine; tali differenze si mantengono dall'infanzia all'adolescenza e sono più marcate nei soggetti con diagnosi neonatale di displasia broncopolmonare (BPD) (2). In particolare, la Xrs appare un indicatore clinicamente rilevante, poiché consente una chiara distinzione tra bambini nati pretermine e a termine, ed è correlata con la presenza di sintomi respiratori (2).

Tuttavia, la fisiopatologia alla base dell'aumentata rigidità polmonare in questa popolazione resta poco chiara: si ipotizzano alterazioni strutturali del parenchima, fallita differenziazione alveolare o fenomeni infiammatori, anche se gli indici di impedenza non sembrano correlare con i danni strutturali evidenziabili alla TC torace. Misure seriali di oscillometria dal periodo prescolare a quello scolastico indicano un peggioramento progressivo dei valori di Xrs e AX nei soggetti con BPD, in parallelo al declino dei parametri spirometrici, in particolare nei bambini esposti a fumo passivo o con sintomatologia respiratoria, anche in assenza di alterazioni strutturali evidenziabili radiologicamente (17).

Le risposte al broncodilatatore nei bambini sani sono ben descritte. Circa un terzo dei nati molto pretermine mostra una risposta positiva al broncodilatatore, con una discreta discordanza tra quanto rilevato con spirometria e con oscillometria, come osservato anche negli adulti. Sebbene la rilevanza clinica della BDR rimanga incerta rispetto a prognosi o risposta terapeutica, è stato osservato che una risposta positiva alla BDR valutata solo con oscillometria è associata alla presenza di respiro sibilante (2, 17).

- **Wheezing prescolare e asma pediatrico:** come negli adulti, i parametri oscillometrici differiscono tra soggetti sani e pazienti con patologie respiratorie, ma non sono di per sé diagnostici, a causa della sovrapposizione dei dati e delle evidenze contrastanti. Alcuni studi non hanno rilevato differenze significative nei parametri di impedenza tra bambini sani in età prescolare e bambini con respiro sibilante (14). Altri studi, come quello di Oostveen *et al.* (16) hanno mostrato un aumento della Rrs nei bambini con *wheezing* transitorio precoce rispetto a quelli che non hanno mai presentato sintomi, con valori ancora più elevati nei bambini con *wheezing* persistente, sebbene con una sovrapposizione sostanziale tra i gruppi. Tali discrepanze possono derivare da criteri di definizione del *wheezing* non uniformi, dalla diversa gravità dei soggetti arruolati (ad esempio, *wheezing* oc-

casionale vs persistente) e dall'incertezza su quali bambini svilupperanno asma in età successiva. Vi sono però evidenze del potenziale valore prognostico dell'oscillometria: in uno studio longitudinale su 255 bambini finlandesi con sintomi asmatici tra i 4 e i 7 anni, uno z-score anomalo di Rrs5 alla *baseline* ha predetto la persistenza dell'alterazione funzionale e la diagnosi di asma in adolescenza (14). L'analisi intra-respiratoria degli indici oscillometrici (distinguendo inspirazione ed espirazione) si è dimostrata più sensibile rispetto ai valori medi complessivi, consentendo una migliore discriminazione tra bambini con *wheezing* acuto o ricorrente e soggetti sani. Tuttavia, servono ulteriori studi per valutarne l'utilità clinica (18).

Il vero punto di forza dell'oscillometria nella popolazione pediatrica affetta da *wheezing* o asma risiede nella capacità di valutare la BDR e l'iperreattività bronchiale, strumenti essenziali per la diagnosi d'asma oltre l'età prescolare. I criteri per una BDR positiva sono ben definiti: riduzione del 40% della Rrs a 5 Hz, aumento del 50% della Xrs a 5 Hz, o riduzione dell'80% dell'AX rispetto al basale. La BDR valutata con oscillometria è più sensibile rispetto a quella valutata con FEV₁ nel distinguere tra bambini asmatici e sani, mentre nei bambini prescolari con *wheezing* ma senza diagnosi di asma, non si osservano differenze significative rispetto ai non *wheezers*. I test di provocazione bronchiale sono eseguibili con oscillometria già a partire dai 3 anni d'età, con tempi di test e dosaggi cumulativi di agente provocante inferiori rispetto alla spirometria (2, 18). Tuttavia, mancano ancora dati conclusivi su quali parametri e *cut-off* siano più indicativi di una risposta positiva al test (18).

L'oscillometria si è inoltre dimostrata sensibile al trattamento farmacologico nei bambini con asma. Studi clinici hanno evidenziato miglioramenti significativi nei parametri Rrs, Xrs e AX dopo terapia con montelukast, corticosteroidi inalatori (ICS) e associazioni ICS/LABA (18), con una sensibilità superiore alla spirometria. Inoltre, Rrs si è dimostrata un predittore migliore rispetto a FEV₁ o al test alla metacolina nel prevedere riacutizzazioni in bambini di 4–7 anni con asma intermittente (2). In sintesi, l'oscillometria sembra avere un ruolo clinicamente utile nell'identificazione e nel monitoraggio delle riacutizzazioni e della risposta terapeutica nei bambini con asma (2, 18).

- **Fibrosi cistica e altre patologie polmonari:** la maggior parte degli studi condotti su bambini piccoli af-

Tabella 2. Caratteristiche funzionali di alcuni dei principali quadri patologici polmonari rilevabili dall'età prescolare.

PATOLOGIA	CARATTERISTICHE	METODICHE DI VALUTAZIONE DELLA FUNZIONALITÀ
Patologie polmonari associate alla prematurità	<ul style="list-style-type: none"> - aumento della resistenza respiratoria (Rrs) - reattanza più negativa (Xrs) - incremento della frequenza di risonanza - incremento dell'area della reattanza (AX) 	<ul style="list-style-type: none"> - oscillometria: peggioramento progressivo dei valori di Xrs e AX nei soggetti con BPD - spirometria: peggioramento dal prescolare allo scolare - risposta al BDR: una risposta positiva alla BDR valutata solo con oscillometria è associata alla presenza di respiro sibilante
Wheezing prescolare e asma pediatrico	<ul style="list-style-type: none"> - aumento della Rrs nei bambini con wheezing transitorio precoce, ancora più elevati nei bambini con wheezing persistente 	<ul style="list-style-type: none"> - oscillometria: ottima capacità di valutare la risposta al BDR; utile nella valutazione della risposta terapeutica - spirometria: <i>gold standard</i> per la diagnosi a partire dai 5 anni
Fibrosi cistica e altre patologie polmonari	<ul style="list-style-type: none"> - grande variabilità dei parametri misurati 	<ul style="list-style-type: none"> - identificazione della malattia e monitoraggio terapeutico tramite <i>multiple-breath washout</i> (MBW)

fetti da fibrosi cistica (CF) mostra indici oscillometrici nella norma e le correlazioni con altri parametri clinici risultano variabili. Di conseguenza, l'utilità clinica dell'oscillometria nella fibrosi cistica rimane incerta, soprattutto considerando che altri test respiratori, come il Multiple-Breath Washout (MBW), si sono dimostrati più sensibili nell'identificare precocemente la malattia polmonare da CF e nel monitorare efficacemente la risposta agli interventi terapeutici (2, 18). Inoltre, i dati pediatrici sull'impiego clinico dell'oscillometria in altre patologie respiratorie pediatriche, come bronchiectasie non-CF, discinesia ciliare primitiva, malattie neuromuscolari, patologie polmonari pediatriche associate a HIV perinatale, malattia polmonare post-tubercolare, anemia falciforme, sono estremamente scarsi o assenti (18). Quanto descritto è riassunto nella **Tabella 2**.

Le resistenze specifiche delle vie aeree tramite tecnica pletismografica

La misurazione delle resistenze specifiche delle vie aeree (sRaw) mediante pletismografia corporea totale rappresenta una tecnica consolidata per la valutazione della funzionalità respiratoria nei bambini in età prescolare (19). Questa metodica consente la registrazione durante la respirazione a volume corrente, senza necessità di manovre forzate o chiusura della valvola, risultando quindi adatta anche ai pazienti più piccoli. La riproducibilità a breve termine della tecnica è stata confermata in studi recenti, con un coefficiente di ripetibili-

tà (CR) compreso tra 0,17 e 0,22 kPa/s, e valori simili riportati per la ripetibilità a lungo termine (20). Tuttavia, la standardizzazione dei dati tra i vari laboratori rimane una sfida, rendendo complessa l'elaborazione di un'unica formula predittiva universale. In ambito clinico, la BDR è considerata significativa in presenza di una riduzione di sRaw $\geq 25\%$, con sensibilità del 66% e specificità dell'81% nell'identificare bambini con possibile asma rispetto ai soggetti sani. È importante sottolineare che, nonostante la disponibilità di valori di riferimento, l'assenza di standardizzazione tra i diversi laboratori rende complessa l'elaborazione di un'unica formula predittiva universale. Pertanto, si raccomanda cautela nell'interpretazione dei risultati e l'utilizzo di dati di riferimento specifici per ciascun centro (2).

Multiple Breath Washout

La tecnica del Multiple Breath Washout (MBW) è un metodo non invasivo utilizzato per valutare la ventilazione polmonare e, in particolare, l'omogeneità della distribuzione dell'aria nei polmoni (21). È particolarmente indicata nei bambini, anche in età prescolare, in quanto può essere eseguita durante la respirazione a volume corrente, senza richiedere sforzi volontari (5). Questa metodica consente di misurare la capacità funzionale residua (Functional Residual Capacity, FRC), ovvero il volume d'aria che permane nei polmoni al termine di un'espiazione normale, e il Lung Clearance Index (LCI), indice sensibile alle alterazioni della ventilazione omogenea. Un LCI elevato è indicativo di una distribuzione non uniforme dell'aria, ovvero di una

inomogeneità ventilatoria, tipica di patologie come la fibrosi cistica e la bronchiolite obliterante. Il test prevede la somministrazione di una miscela di gas priva di azoto, generalmente ossigeno al 100%, e la misurazione dell'azoto espirato fino al raggiungimento di una soglia predefinita. Numerosi studi ne hanno validato l'efficacia clinica e la tollerabilità nei bambini piccoli, rendendola una tecnica di riferimento per la valutazione precoce della funzionalità respiratoria. A differenza delle prove di funzionalità respiratoria tradizionali, come la spirometria, l'MBW è eseguibile durante la respirazione a volume corrente, rendendolo un test adatto anche a bambini in età prescolare e pazienti non collaboranti, che può essere usato in maniera longitudinale fin dai primi anni di vita (2, 5). Inoltre sono stati recentemente pubblicati robusti valori di riferimento a partire dall'età prescolare (22).

Spirometria

L'applicazione della spirometria alla fascia d'età prescolare è stata per lungo tempo trascurata, poiché si riteneva che fosse riservata al paziente più collaborante e capace di eseguire manovre espiratorie forzate. Tuttavia, le evidenze più recenti e l'introduzione di approcci specificamente adattati stanno modificando questo paradigma, promuovendo l'estensione dell'uso della spirometria anche nei bambini in età prescolare. Per garantire il successo del test in questa fascia d'età, è fondamentale adattare il contesto e gli strumenti diagnostici alle esigenze del piccolo paziente: un ambiente a misura di bambino (*child-friendly environment*), l'impiego di software con animazioni grafiche che incentivino la collaborazione (*incentive displays*), e soprattutto la presenza di personale sanitario dedicato e appositamente formato sono elementi essenziali. I bambini in età prescolare presentano infatti una limitata capacità di attenzione e scarsa familiarità con il controllo volontario degli atti respiratori. Spesso non sono in grado di eseguire manovre espiratorie forzate sufficientemente lunghe e potenti: tendono a "soffiare forte ma per poco tempo", oppure "a lungo ma con bassa intensità". Per questo motivo, ottenere curve spirometriche tecnicamente accettabili e riproducibili richiede strategie comunicative, esperienza clinica e tempo dedicato. Uno studio ha valutato 355 bambini di 3–6 anni, rilevando che il 55% ha eseguito manovre affidabili (almeno due FVC e FEV₁, riproducibili entro 0,1 L), soprattutto se supervisionati da personale medico pediatrico esperto (23).

Nei bambini di età <6 anni i criteri generali di accettabilità e ripetibilità per la spirometria sono simili a quelli degli adulti, ma presentano una maggiore flessibilità

tenendo conto delle limitazioni fisiologiche e cognitive nei più piccoli (1, 3). In particolare:

- Il back extrapolated volume (BEV) deve essere <12.5% della FVC o <80 mL (valore minore), un criterio più tollerante rispetto a quello degli adulti.
- Deve essere evidente uno sforzo espiratorio massimale, ma non è richiesta una durata ≥6 secondi.
- È sufficiente una durata che mostri un plateau espiratorio o almeno una riduzione netta del flusso verso la fine dell'espirazione. Idealmente, questa fase deve durare almeno 1 secondo.

Con un adeguato supporto e guida, viene riportato in letteratura che anche i bambini di appena 2 anni e mezzo, con normale sviluppo cognitivo e neuromotorio, possono essere in grado di eseguire una spirometria accettabile (1, 24). Anche se FEV₁ resta il parametro principale, in età prescolare è accettabile usare volumi espiratori forzati in tempi più brevi, come FEV_{0.75} (nei primi tre quarti di secondo) o FEV_{0.5} (nel primo mezzo secondo dell'espirazione) (1, 3). Sono anche disponibili valori di riferimento globali, sviluppati e validati in popolazioni pediatriche a partire dai 3 anni di vita (25).

Per rispettare i criteri di ripetibilità nella spirometria pediatrica, è necessario che il bambino esegua almeno tre prove accettabili, ossia manovre tecnicamente valide secondo gli standard ATS/ERS (3). Tra queste, le due migliori manovre devono mostrare una variabilità limitata, cioè una differenza fra i due FEV₁ e frai due FVC ≤100 mL oppure ≤10% in bambini con età <6 anni.

FUNZIONALITÀ RESPIRATORIA IN ETÀ SCOLARE

Le metodiche di valutazione della funzionalità respiratoria impiegate nei bambini in età prescolare sono le stesse che vengono utilizzate nei bambini in età scolare, sebbene con importanti considerazioni legate all'età, alla crescita e allo sviluppo cognitivo. La fattibilità della spirometria aumenta progressivamente con l'età del bambino, parallelamente alla capacità di eseguire correttamente manovre espiratorie forzate in modo riproducibile e accettabile.

L'interpretazione della spirometria ha subito alcune importanti modifiche nel documento sugli standard tecnici pubblicato nel 2022 da Stanojevic *et al.* (26), in particolare:

- introduzione del concetto di z-score nell'interpretazione dei valori spirometrici: i limiti corrispondenti al 5° e al 95° percentile della popolazione sana (ovvero z-score -1.645 e +1.645, che rappresentano i li-

miti di confidenza al 90%) possono essere utilizzati per identificare rispettivamente soggetti con risultati insolitamente bassi o alti. Esprimere come z-score i valori misurati consente di capire velocemente dove si posizionano i valori misurati rispetto ai valori di riferimento. L'uso del 5° percentile come limite inferiore di normalità rappresenta un compromesso tra sensibilità e specificità: consente di identificare riduzioni clinicamente rilevanti della funzionalità respiratoria (migliorando la sensibilità), ma comporta un rischio maggiore di classificare erroneamente come patologico un valore che in realtà rientra nella variabilità normale di un soggetto sano. Per test che possono presentare deviazioni sia verso valori elevati sia ridotti (come i volumi polmonari statici o la capacità di diffusione del monossido di carbonio, DLCO), l'uso di intervalli di riferimento bidirezionali aumenta il rischio complessivo di falsi positivi fino al 10%. Tuttavia, nei soggetti per i quali questi test sono indicati per sospetta patologia respiratoria, la probabilità pre-test di ottenere un risultato anomalo è più elevata, riducendo il rischio di interpretazioni errate. È importante sottolineare che il valore al di sotto del limite inferiore di normalità non indica automaticamente la presenza di una patologia né rappresenta necessariamente una soglia clinicamente significativa per la diagnosi: l'interpretazione deve sempre avvenire nel contesto clinico del singolo paziente.

- Modifica dell'interpretazione della risposta alla somministrazione del broncodilatatore: le variazioni del FEV₁ e della FVC in seguito alla somministrazione di broncodilatatore devono essere espresse come percentuale di variazione rispetto al valore predetto per l'individuo. Secondo le indicazioni più recenti, un incremento superiore al 10% del valore predetto viene considerato indicativo di una risposta positiva al broncodilatatore, qualunque sia l'età o del soggetto. Fino al 2022 l'interpretazione della BDR si basava su due principali approcci: il limite superiore della variazione attesa in una popolazione sana, oppure una soglia corrispondente ad un evento clinicamente significativo. Sebbene il primo approccio offra una valutazione statistica, esso potrebbe non riflettere una reale rilevanza clinica. Il secondo approccio – soglia basata su esiti clinici – risulta invece più informativo in contesto diagnostico e prognostico. Ad esempio, uno studio su oltre 4000 pazienti ha evidenziato che un incremento del FEV₁ superiore all'8% del valore predetto è associato a una mortalità significativamente più bassa, supportando l'utilizzo di tale soglia come indicatore clinico rilevante.

Le linee guida ATS/ERS del 2005 suggerivano un criterio combinato di risposta positiva al broncodilatatore: incremento di FEV₁ e/o FVC ≥12% e ≥200 mL. Tuttavia, questo metodo è influenzato dal livello di funzionalità respiratoria basale e da variabili antropometriche (età, sesso, altezza), risultando meno affidabile soprattutto nelle popolazioni pediatriche o con compromissione severa. La raccomandazione attuale di esprimere la variazione come percentuale del valore predetto riduce la variabilità legata a sesso, statura ed età e migliora l'uniformità dell'interpretazione. Le analisi epidemiologiche indicano che il limite superiore del broncodilatatore in soggetti sani (95° percentile) è pari a: FEV₁ 10.1-11.6% del predetto; FVC: 9.6-10.2% del predetto; FEV_{0.75} nei bambini piccoli: circa 8.5% del predetto. È stato inoltre osservato che la risposta in FVC può meglio riflettere fenomeni di air trapping rispetto al solo FEV₁. Sulla base di queste considerazioni, si raccomanda di considerare una risposta positiva al broncodilatatore un incremento >10% rispetto al valore predetto di FEV₁ o FVC.

Anche le altre tecniche, come la tecnica dell'interruzione (Rint), la tecnica delle oscillazioni forzate (FOT), le resistenze specifiche pletismografiche (sRaw) e il multiple-breath washout (MBW) sono applicabili attraverso tutta l'età pediatrica, con differenze legate principalmente alla maturazione polmonare e alla capacità di collaborazione. In particolare, è importante sottolineare che i valori di riferimento pediatrici sono solitamente sviluppati e validati per soggetti fino ai 13-14 anni di età. Tuttavia, per alcune tecniche, come spirometria (25), MBW (22) e IOS (27), sono disponibili valori di riferimento che vanno dall'età prescolare all'anziano. È necessario sottolineare l'importanza di utilizzare riferimenti età-specifici, adattando l'interpretazione dei risultati funzionali al profilo di crescita del paziente. In sintesi, le metodiche di funzionalità respiratoria sono in genere sovrapponibili tra l'adolescenza e l'età adulta, ma la loro applicabilità e interpretazione richiedono una particolare attenzione al contesto evolutivo, soprattutto per tecniche sensibili come la spirometria e l'oscillometria.

PROSPETTIVE FUTURE

Alla luce dei progressi tecnologici appare sempre più necessario un ripensamento complessivo della valutazione funzionale respiratoria, in particolare della spirometria e della misurazione dei volumi polmonari. Le più recenti innovazioni, tra cui i sensori a ultrasuoni, con-

sentono oggi livelli di precisione significativamente superiori rispetto a quanto fosse possibile in passato. Tuttavia, gli attuali standard tecnici mostrano una certa difficoltà nell'adeguarsi a tale sviluppo, rendendo opportuno interrogarsi su quale grado di accuratezza sia effettivamente richiesto per garantire un impatto clinico significativo.

In questo contesto, la valutazione della funzionalità respiratoria dovrebbe essere considerata un elemento imprescindibile del percorso diagnostico e di follow-up del paziente, in quanto fornisce informazioni fisiopatologiche fondamentali e supporta la personalizzazione degli interventi terapeutici. Anche nelle situazioni in cui le metodiche appaiono di difficile esecuzione, il loro contributo al ragionamento clinico risulta sostanziale. È auspicabile che in futuro l'evoluzione tecnologica renda disponibili strumenti più semplici, accessibili e integrabili anche nei contesti di cura primaria. Fino ad allora, è essenziale valorizzare le tecniche esistenti, adottando un approccio pragmatico ed *evidence-based*.

L'utilità clinica di alcuni accorgimenti metodologici, come la ripetizione delle manovre spirometriche al fine di ridurre la variabilità, deve essere valutata alla luce del beneficio che essi apportano all'interpretazione finale. Un'ulteriore sfida è rappresentata dalla modalità con

cui i risultati dei test funzionali vengono comunicati: l'attuale prassi di riportare lunghe serie di valori numerici e acronimi risulta spesso di difficile interpretazione per i professionisti non specialisti. In prospettiva, appare auspicabile un cambiamento di paradigma che orienti l'interpretazione verso indicatori clinicamente significativi, ancorati a esiti diagnostici, prognostici o terapeutici. In tale contesto, l'intelligenza artificiale rappresenta un potenziale strumento di trasformazione, consentendo di riformulare l'esito delle prove funzionali respiratorie in termini di probabilità cliniche o di risposte fisiologiche a specifici sintomi o fenotipi.

In conclusione, risulta quindi importante non rinunciare alla valutazione della funzionalità respiratoria anche laddove essa presenti delle difficoltà, ma al contrario a perseguire l'obiettivo di renderla sempre più interpretabile e integrata nella pratica clinica.

CONFORMITÀ ALLE NORME ETICHE

Gli autori non presentano conflitti d'interesse e l'articolo è stato pubblicato senza impiego di finanziamenti. Il testo è originale in assenza di plagio.

Il primo autore ha partecipato alla stesura della revisione e gli altri autori ne hanno revisionato il contenuto.

BIBLIOGRAFIA

1. Beydon N, Davis SD, Lombardi E, Allen JL, Arets HG, Aurora P, 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(12):1304–45. doi: 10.1164/rccm.200605642ST.
2. Rosenfeld M. et al. An Official American Thoracic Society workshop report: optimal lung function test for monitoring cystic fibrosis, bronchopulmonary dysplasia, and recurrent wheezing in children less than 6 years of age. *Ann Am Thorac Soc* 2013;10:S1-S11.
3. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, 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.
4. King GG, Bates J, Berger KI, et al. Technical standards for respiratory oscillometry. *Eur Respir J* 2020; 55: 1900753. doi:10.1183/13993003.00753-2019.
5. Robinson PD, Latzin P, Ramsey KA, Stanojevic S, Aurora P, Davis SD, et al. Preschool Multiple-Breath Washout Testing. An Official American Thoracic Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med* 2018;197:e1-e19.
6. Gheorghiu RM, Stan IV. Reflections of a paediatric pulmonologist: strategies for optimising lung function tests in preschool children. *Breathe* 2025; 21: 240178. doi: 10.1183/20734735.0178-2024.
7. Neergaard KV, Wirz K. Die messung derstromungswiderstande in den atemwegen des menschen, insbesondere bei asthma und emphysema. *Z Klin Med*. 1927;105:51-82.
8. Calogero C, Fenu G, Luzzi V, Sly PD, Lombardi E. Comparison of two devices for assessment of the interrupter resistance in preschool children. doi: 10.56164/Pediatr-RespirJ.2022.06.
9. Lombardi E, Fainardi V, Calogero C, Puglia M, Voller F, Cuttini M, et al. Lung function in a cohort of 5-years old children born very preterm. *Pediatr Pulmonol* 2018;53:1633-1639. doi: 10.1002/ppul.24179.
10. Beydon N, Denjean A, Mentré F, Denjean A, Fenu G, Seddon P, et al. Interrupter resistance to measure dose-response to salbutamol in wheezy preschool children. *Pediatr Pulmonol* 2018;53:1252-9. doi: 10.1002/ppul.24116.
11. Gazibara T, den Dekker HT, de Jongste JC, McGrath JJ, Eyles DW, Burne TH, et al. Associations of maternal and fetal 25-hydroxyvitamin D levels with childhood lung function and asthma: the Generation R Study. *Clin Exp Allergy* 2016;46:337-346. doi: 10.1111/cea.12645.

12. Seddon PC, Willson R, Olden C, Symes E, Lombardi E, Beydon N. Bronchodilator response by interrupter technique to guide management of preschool wheeze. *Arch Dis Child* 2023;108:768-773.
13. Calogero C, Parri N, Baccini A, Cuomo B, Palumbo M, Novembre E, et al. Respiratory impedance and bronchodilator response in healthy Italian preschool children. *Pediatr Pulmonol*. 2010;45:1086-1094. doi: 10.1002/ppul.21292.
14. Starczewska-Dymek L, Bozek A, Mielnik M. The sensitivity and specificity of the forced oscillation technique in the diagnosis of bronchoconstriction in children. *J Asthma* 2021;58:334-339. doi: 10.1080/02770903.2019.1702054.
15. Dellacà R, Aliverti A, eds. *Respiratory Physiology: New Knowledge, Better Diagnosis (ERS Monograph)*. Sheffield, European Respiratory Society, 2025; pp. 119–134. doi: 10.1183/2312508X.10006924.
16. Oostveen E, Dom S, Desager K, et al. Lung function and bronchodilator response in 4-year-old children with different wheezing phenotypes. *Eur Respir J* 2010;35:865-872.
17. Simpson SJ, Du Berry C, Evans DJ, Gibbons JTD, Voltsæter M, Halvorsen T, et al. Unravelling the respiratory health path across the lifespan for survivors of preterm birth. *Lancet Respir Med* 2024;12:167-180. doi: 10.1016/S2213-2600(23)00272-2.
18. Kaminsky DA, Simpson SJ, Berger KI, Calverley P, de Melo PL, Dandurand R, et al. Clinical significance and applications of oscillometry. *Eur Respir Rev* 2022;31:210208; doi: 10.1183/16000617.0208-2021.
19. Bisgaard H, Nielsen KG. Plethysmographic measurements of specific airway resistance in young children. *Chest* 2005;128:355-62.
20. Mauger-Hamel P, Du Boisbaudry C, Léon K, Alavi Z, Giroux-Metges MA. Relationship between baseline and post-bronchodilator interrupter resistance and specific airway resistance in preschool children. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2020;124:366-372. doi: 10.1016/j.anai.2020.01.003.
21. Robinson PD, Latzin P, Verbanck S, Hall GL, Horsley A, Gappa M, et al. Consensus statement for inert gas washout measurement using multiple- and single-breath tests. *Eur Respir J* 2013;41:507-522. doi: 10.1183/09031936.00069712.
22. Ramsey KA, Stanojevic S, Chavez L, Johnson N, Bowerman C, Hall GL, et al. Global Lung Function Initiative reference values for multiple breath washout indices. *Eur Respir J* 2024;64:2400524. doi: 10.1183/13993003.00524-2024.
23. Crenesse D, Berlioz M, Bourrier T, Albertini M. Spirometry in children aged 3 to 5 years: reliability of forced expiratory maneuvers. *Pediatr Pulmonol* 2001;32:56-61. doi: 10.1002/ppul.1089.
24. Elenius V, Chawes B, Malmberg PL, Adamiec A, Ruszczyński M, Feleszko W, et al. Lung function testing and inflammation markers for wheezing preschool children: A systematic review for the EAACI Clinical Practice Recommendations on Diagnostics of Preschool Wheeze. *Pediatr Allergy Immunol* 2021;32:501-513. doi: 10.1111/pai.13418.
25. Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-year age range: the Global Lung Function 2012 equations. *Eur Respir J* 2012;40:1324-1343. doi:10.1183/09031936.00080312.
26. Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller MR, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur Respir J* 2022;60:2101499.
27. Gochicoa-Rangel L, Martínez-Briseño D, Guerrero-Zúñiga S, Contreras-Morales J, Arias-Jiménez D, Del-Río-Hidalgo R, et al. Reference equations using segmented regressions for impulse oscillometry in healthy subjects aged 2.7-90 years. *ERJ Open Res*. 2023;9:00503-2023. doi: 10.1183/23120541.00503-2023.

REVISIONE

Fumo, svapo e salute respiratoria dei bambini: evidenze aggiornate sugli effetti dell'esposizione prenatale e postnatale

Smoking, vaping, and children's respiratory health: updated evidence on the effects of prenatal and postnatal exposure

Velia Malizia¹, Giuliana Ferrante^{1,2}, Alessandra Pandolfo^{1,3}, Andrea Perri^{1,4}, Valentina Lazzara^{1,3}, Filippo Sapienza¹, Pietro Alfano¹, Stefania La Grutta^{1,*}

* CORRISPONDENZA:

stefania.lagrutta@cnr.it

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8026-0715>

DOI

10.63304/PneumolPediatri.2025.17

¹ Istituto di Farmacologia Traslazionale IFT, Consiglio Nazionale delle Ricerche CNR, Palermo, Italia

² Dipartimento di Scienze Chirurgiche, Odontostomatologiche e Materno Infantili - Sezione di Pediatria, Università di Verona, Verona, Italia

³ Dipartimento di Scienze Economiche, Aziendali e Statistiche (dSEAS), Università di Palermo (UNIPA), Palermo, Italia

⁴ Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DiSTEM), Università di Palermo (UNIPA), Palermo, Italia

RIASSUNTO

L'articolo fornisce un aggiornamento sugli effetti del fumo e dello svapo sulla salute respiratoria dei bambini, considerando gli effetti respiratori sia da sola esposizione prenatale, postnatale o combinata prenatale e postnatale sia gli effetti da esposizione passiva sugli esiti correlati all'asma. L'esposizione prenatale al tabacco è associata a un aumento del rischio di sviluppare asma infantile, riacutizzazioni dell'asma, riduzione della funzionalità polmonare in età scolare. Il fumo passivo postnatale aumenta il rischio di asma di nuova insorgenza e di respiro sibilante ricorrente, soprattutto se entrambi i genitori hanno fumato, mentre il rischio di ridotta funzionalità polmonare è controverso. L'esposizione combinata prenatale e postnatale aumenta il rischio di asma di nuova insorgenza ed il rischio di respiro sibilante ricorrente. L'aumento del rischio di gravi riacutizzazioni dell'asma, la compromissione del controllo dell'asma e la riduzione della funzionalità polmonare sono i principali effetti sugli esiti correlati all'asma da esposizione passiva al fumo.

ABSTRACT

The article provides an update on the effects of smoking and vaping on children's respiratory health, considering respiratory effects of both prenatal, postnatal, or combined prenatal and postnatal exposure, and the effects of passive exposure on asthma-related outcomes. Prenatal tobacco exposure is associated with an increased risk of developing childhood asthma, asthma exacerbations, and reduced lung function in school-age children. Postnatal passive smoking increases the risk of new-onset asthma and recurrent wheeze, especially if both parents have smoked, while the risk of reduced lung function is controversial. Combined prenatal and postnatal exposure increases the risk of new-onset asthma and the risk of recurrent wheeze. Increased risks of severe asthma exacerbations, impaired asthma control, and reduced lung function are the main effects on asthma-related outcomes from passive exposure to smoke.

PAROLE CHIAVE

Fumo; svapo; esposizione; asma; funzione respiratoria.

KEY WORDS

Smoke; vaping; exposure; asthma; respiratory function.

INTRODUZIONE

Nella **Giornata mondiale senza tabacco** “*No tobacco day*” del 31 maggio 2025, il Direttore Generale dell’OMS Tedros Adhanom Ghebreyesus ha dichiarato che “*l’industria del tabacco e dello svapo prende di mira i bambini e i giovani con aromi, design accattivanti e marketing ingannevole, facendo sembrare il loro prodotto innocuo, quando in realtà causa malattie e morte. Alcuni aromi rendono questi prodotti ancora più assuefacenti e pericolosi. L’obiettivo principale dell’industria del tabacco e dello svapo è il profitto, che si ottiene alimentando la dipendenza. I legislatori possono proteggere il pubblico, soprattutto i bambini, vietando gli aromi, rimuovendo la pubblicità ingannevole, soprattutto sui social media, e creando politiche che mettano le persone al primo posto rispetto al profitto. Interrompere il ciclo vizioso della dipendenza è imperativo per la salute pubblica, in particolare dei bambini, avendo ben chiaro che il tabacco uccide indipendentemente da come è confezionato*”. Queste parole, coerenti con il titolo della giornata OMS “*No tobacco day*” 2025 “**Smascherare l’attrattiva: smascherare le tattiche dell’industria sui prodotti del tabacco e della nicotina**” pongono al centro la protezione della salute dei bambini a difesa della campagna aggressiva sostenuta dalle industrie del tabacco, della nicotina e dello svapo.

La SIMRI ha colto il segnale di allarme del progressivo aumento nei più giovani dell’uso di tabacco, nicotina, sigarette elettroniche, attivando già da molti anni numerose iniziative educazionali e formative, con l’obiettivo di rendere consapevoli sia gli operatori sanitari sia i bambini/adolescenti e le loro famiglie della necessità di agire con decisione e competenza per proteggere la salute respiratoria dei più vulnerabili.

OBIETTIVO DELLA REVISIONE

L’obiettivo di questo contributo è fornire un aggiornamento sugli effetti del fumo e dello svapo sulla salute respiratoria dei bambini, considerando gli effetti respiratori da sola esposizione prenatale, postnatale o combinata prenatale e postnatale, e gli effetti da esposizione passiva sugli esiti correlati all’asma.

DATI GENERALI

La recente analisi sistematica 1990-2019 del *Global Burden of Disease Study* sulla prevalenza del consumo di fumo di tabacco, e sul carico di malattia attribuibile in 204 paesi, evidenzia che, negli ultimi 30 anni, oltre 200 milioni di decessi sono stati causati dal consu-

mo di tabacco, con costi annuali di oltre 1.000 miliardi di dollari, sottolineando che il controllo del tabacco è una urgente priorità di salute pubblica (1). Il più recente rapporto OMS-MPOWER del 2023 sull’epidemia globale di tabacco riporta che in settantaquattro Paesi nel mondo sono attive tutte le sei misure antifumo: 1) monitorare il consumo di tabacco e l’efficacia delle misure preventive; 2) proteggere le persone dal fumo di tabacco; 3) offrire aiuto per smettere di fumare; 4) mettere in guardia dai pericoli del tabacco; 5) applicare divieti alla pubblicità, alla promozione e alla sponsorizzazione del tabacco; 6) aumentare le tasse sul tabacco. Ciò dimostra che, a distanza di molti anni dalla Convenzione WHO FCTC del 2005, sono stati realizzati progressi significativi in tutto il mondo, nonostante ci sia ancora molto da fare (<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/372043/9789240077164-eng.pdf?sequence=1>). Infatti, pur attuando a livello nazionale tutti gli interventi efficaci per ridurre la domanda di tabacco e per gestire il controllo del tabacco, in Europa, il consumo di tabacco rimane la principale causa di morte prematura (in media 14 anni prima), responsabile di quasi 700.000 decessi ogni anno: 1,3 milioni di questi decessi riguardano persone che non fumano, inclusi neonati e bambini, particolarmente vulnerabili all’esposizione al fumo passivo. Inoltre, il 29% dei giovani europei di età compresa tra 15 e 24 anni fuma, nonostante i notevoli progressi compiuti negli ultimi anni, con un tasso di variazione annuale dei *Disability-Adjusted Life Year* (DALY) per tutte le età dal 2010 al 2019 compreso tra -9.7% e <-3.3% per l’Europa Centrale (2).

Il Consiglio Europeo incoraggia gli Stati membri ad aggiornare e ampliare la legislazione vigente in materia di ambienti privi di fumo e fumo di seconda mano da esposizione al fumo di tabacco, detto anche “fumo passivo”, di cui almeno 69 dei 7000 composti, tra i quali occorre menzionare la lista dei tossici già riconosciuti dall’OMS: N-nitrosamminonicotina, 4-(metilnitrosammino)-1-(3-piridil)-1-butanone, acetaldeide, acroleina, benzene, benzo[a]pirene, 1,3-butadiene, monossido di carbonio e formaldeide. Inoltre, è importante ricordare che anche gli aerosol di seconda mano emessi dai prodotti a base di tabacco riscaldato sono potenzialmente dannosi per i loro effetti respiratori. Il 3 dicembre 2024 il Consiglio Europeo ha adottato una raccomandazione che contribuirà a ridurre l’esposizione al fumo passivo e agli aerosol nonché a realizzare una generazione senza tabacco in Europa entro il 2040, incoraggiando i paesi dell’Unione Europea (EU) ad ampliare l’ambito di applicazione delle attuali misure di protezione contro l’esposizione al fumo passivo includendo aree esterne rilevanti, come parchi

giochi e terrazze dei ristoranti. Le nuove misure si applicheranno anche ai prodotti di tabacco emergenti, come le sigarette elettroniche e i prodotti a tabacco riscaldato (*Heated Tobacco Product*, HTP), sempre più in uso tra i giovani. Il documento EU riporta la ripartizione percentuale tra donne, uomini e bambini (di età inferiore ai 15 anni) del numero annuo di decessi globali attribuibili al fumo passivo, evidenziando che oltre 1 decesso su 4 causato dal fumo passivo riguarda i bambini (<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/smoke-free-environments/>). I dati per l'Italia presenti nell'ultimo rapporto Eurobarometro 2023 indicano che il 35% dei rispondenti fuma attualmente, il 17% fumava ma ha smesso, il 48% non ha mai fumato; per quanto riguarda l'uso di sigarette elettroniche, il 3% degli intervistati ha dichiarato l'uso attuale, il 4% l'uso solo precedente e l'8% dichiara di averle provate una o due volte; infine, per l'uso del tabacco riscaldato, il 4% degli intervistati ha dichiarato l'uso attuale, il 4% l'uso precedente e il 7% di averlo provato una o due volte (<https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2995>).

Dai risultati principali dell'8° ciclo del progetto *European School Survey Project on Alcohol and Other Drugs* (ESPAD), condotto nel 2024 tra 113882 studenti di età compresa tra i 15 e i 16 anni in 37 paesi europei (https://www.euda.europa.eu/publications/data-factsheets/espac-2024-key-findings_it), emerge che in media il 15% degli studenti riferisce di aver fumato sigarette per la prima volta all'età di 13 anni o precedente. Il consumo di sigarette continua a essere diffuso tra gli adolescenti: in particolare, il consumo quotidiano di sigarette è riportato nel 7,9% degli studenti, con percentuali simili tra i due sessi e maggiore prevalenza di studenti in giovane età (13 anni o meno). Un dato rilevante è l'aumento dal 2,5% al 3,6% del consumo nelle ragazze, confermando il loro maggiore coinvolgimento nell'abitudine tabagica. Tale tendenza riguarda le sigarette elettroniche, il cui uso almeno una volta nella vita è riferito in media dal 44% degli studenti ESPAD, mentre tale consumo nella vita sale al 46% per le ragazze rispetto al 41% dei ragazzi. È particolarmente allarmante il dato che, in media, il 16% degli studenti ha provato le sigarette elettroniche all'età di 13 anni o inferiore e che nella maggior parte dei paesi l'uso precoce di sigarette elettroniche è più comune tra le ragazze che tra i ragazzi. Inoltre, l'uso corrente di sigarette elettroniche, definito come uso negli ultimi 30 giorni, è riferito in media dal 22% degli studenti (19% per i ragazzi e 25% per le ragazze) ed almeno il 60% degli studenti considera facilmente accessibili le sigarette elettroniche. In generale, si conferma una netta tendenza all'incremen-

to dell'uso di sigarette elettroniche: nel corso della vita, dal 41 % al 43 %, in epoca corrente, dal 14 % al 22 %. Altrettanto impressionante è l'aumento dell'uso duale, sia delle sigarette tradizionali sia di quelle elettroniche: nel corso della vita, dal 32% al 47%, in epoca corrente, dal 18% al 28% (con un notevole accrescimento tra le ragazze in entrambi i casi).

I risultati dell'indagine 2025 condotta dall'Istituto Superiore di Sanità (ISS) su un campione rappresentativo di studenti di 11-13 anni (n = 241.047) e 13-14 anni (n = 864.897) residenti in Italia indicano una prevalenza di consumatori negli ultimi 30 giorni riguardante complessivamente tutti i prodotti contenenti tabacco o nicotina-sigarette tradizionali, tabacco riscaldato e sigaretta elettronica, del 7.5% per gli studenti di 11-13 anni e del 37.4% per gli studenti di 14-17 anni, con valori più alti nelle ragazze (42.1%) rispetto ai ragazzi (32.2%) nel gruppo di 13-14 anni; nel confronto con i dati della stessa indagine effettuata nel 2024, emerge un aumento di prevalenza nelle ragazze (34.8%) rispetto ai ragazzi (25.9%). Nel dettaglio dei diversi consumi (sigarette tradizionali, tabacco riscaldato e sigaretta elettronica) negli ultimi 30 giorni, la fascia di età 14-17 anni riporta un maggiore consumo rispetto a quella di 11-13 anni: 24.5% per le sigarette tradizionali, 22.4% per il tabacco riscaldato e 29.9% per le sigarette elettroniche, rispetto ai dati del 3.2%, 2.7% e 6.3% rispettivamente, per le stesse tipologie osservati nella fascia 11-13 anni. In analogia con quanto già riportato nell'indagine sugli studenti ESPAD, anche nella survey ISS emerge la netta prevalenza del genere femminile in tutti i tipi di consumo negli ultimi 30 giorni nella fascia d'età 13-14: 27% per le sigarette tradizionali, 28% per il tabacco riscaldato e 32% per le sigarette elettroniche. In questa fascia di età, la tendenza alla maggiore prevalenza di tutti i tipi di consumo negli ultimi 30 giorni nel genere femminile conferma quanto riportato nelle precedenti survey già condotte a partire dal 2022, con un drammatico aumento di prevalenza del consumo delle sigarette elettroniche che dal 23.7% nel 2022 aumenta al 32.2% nel 2025; per quel che attiene il consumo del tabacco riscaldato, si registra una prevalenza di 13,2% nel 2022, che sale al 28% nel 2025; infine, relativamente al consumo della sigaretta tradizionale è riscontrata una prevalenza del 26% nel 2022, con un aumento al 27.2% nel 2025. Per quanto riguarda i ragazzi più giovani (11-13 anni), il consumo negli ultimi 30 giorni è maggiore nei ragazzi per sigarette tradizionali (3.4%) rispetto alle ragazze per il tabacco riscaldato (3.1%), con un lieve aumento rispetto agli stessi indicatori del 2022; relativamente alla sigaretta elettronica, la preva-

lenza è lievemente ridotta nel confronto con il 2022, dal 8.1% al 6.3%, senza differenza tra i due sessi. Per entrambe le fasce di età indagate, il 65.5% dei ragazzi di 11-13 anni e l'86.8% dei ragazzi di 13-14 anni riferisce consumo negli ultimi 30 giorni di sigarette elettroniche sia con sia senza nicotina; inoltre, nel 45% dei ragazzi di 11-13 anni è riportato policonsumo, con uso di differenti abbinamenti di sigaretta tradizionale con tabacco riscaldato e/o sigaretta elettronica, oppure di tutti e tre; tale tendenza al policonsumo è decisamente allarmante nei ragazzi di 13-14 anni, con valori del 70.7%, in netto aumento rispetto 62.4% dell'anno 2024 e al 38.7 % riportato nell'anno 2022.

EFFETTI RESPIRATORI DA SOLA ESPOSIZIONE PRENATALE

Molti studi hanno riportato che i principali effetti avversi da esposizione prenatale al tabacco impattano sullo sviluppo dei polmoni in utero con conseguente aumento del rischio di sviluppare asma infantile (3), riacutizzazioni dell'asma (4) e riduzione della funzionalità polmonare in età scolare (5). Recentemente, la task force della *European Academy of Allergy and Clinical Immunology* (EAACI) ha fornito i risultati di tre studi di revisione sistematica che hanno valutato l'impatto del fumo di tabacco ambientale (ETS) sul rischio di asma di nuova insorgenza/respiro sibilante ricorrente e ridotta funzionalità polmonare e sugli esiti correlati all'asma. Sono stati inclusi solo studi longitudinali, quasi tutti su sigarette a combustione (solo uno valutava le sigarette elettroniche). Nel complesso, il fumo passivo prenatale può aumentare il rischio di asma di nuova insorgenza e funzionalità polmonare ridotta (evidenza di certezza

bassa) e aumenta il rischio di respiro sibilante ricorrente (evidenza di certezza moderata) (6) (Tabella 1). In particolare, per quanto riguarda l'effetto sulla funzione polmonare, Gilliland *et al.* (7) hanno riportato che l'esposizione in utero è associata alla diminuzione del FEV₁ nei ragazzi (differenza media -13,6%; 95% CI -18,9% e -8,2%) ed alla diminuzione del FEV₁/FVC nelle ragazze (-9,3%; 95% CI -12,9% e -5,4%). Successivamente, anche Sunde *et al.*, nello studio di coorte di nascita *Copenhagen Prospective Studies on Asthma in Childhood 2000* (COPSAC2000), condotto in 411 bambini, con follow-up clinico a 7 anni, hanno osservato che i bambini con esposizione prenatale al tabacco presentavano un rischio doppio di sviluppare asma, un rischio triplo di riacutizzazioni, un rischio doppio di infezioni respiratorie acute, una riduzione del FEV₁ (differenza media aggiustata = -0,07 L; 95% CI -0,13 e -0,01 L) e un aumento della reattività bronchiale, rispetto ai bambini non esposti; inoltre, l'effetto sull'asma dipendeva dal genotipo 17q12-21, con un rischio aumentato solo tra i bambini senza alleli di rischio (8).

Recentemente, Wada *et al.* hanno mostrato che il fumo materno durante la gravidanza è associato allo sviluppo di entrambi i tipi di respiro sibilante (*Early Transient Wheezing* e *Late-onset wheezing*) nei bambini fino a 3 anni di età; in particolare, è stato osservato un effetto incrementale rispetto al numero/die di sigarette fumate sia per *Early Transient Wheezing* (OR 1,43; 95% CI 1,23–1,66 per un numero di 1-10 sigarette/die; OR 1,67; 95% CI 1,27–2,20 per un numero ≥11 sigarette/die) sia per *Late-onset wheezing* (OR 1,26; 95% CI 1,07–1,49 per un numero di 1-10 sigarette/die; OR 1,28; 95% CI 0,92–1,78 per un numero ≥11 sigarette/die) (9). Inoltre, lo studio longitudinale di Toppila-Salmi *et al.* su 5200 sogget-

Tabella 1. Sintesi degli effetti da esposizione prenatale, postnatale e combinata pre-post natale sulla salute respiratoria del bambino (modificata da 6).

	Asma di nuova insorgenza	Wheezing ricorrente	Bassa funzione polmonare
Esposizione prenatale	Pooled OR 1,28; 95% CI 1,18-1,39	Pooled OR 1,43; 95% CI 1,30-1,56	Prove di bassa certezza
Esposizione prenatale stratificata per persona che fuma (madre/padre/entrambi/ altri parenti)	Pooled OR 1,30; 95% CI 1,20-1,41		
Esposizione postnatale	Pooled OR 1,12; 95% CI 1,01-1,24	Pooled OR 1,15; 95% CI 1,04-1,27	Prove di bassa certezza
Esposizione postnatale da entrambi i genitori	Pooled OR 1,20; 95% CI 1,09-1,32		
Esposizione combinata prenatale e postnatale	Pooled OR 1,49; 95% CI 1,12-1,99	Pooled OR 1,46; 95% CI 1,28-1,66	

OR, odds ratio.

ti, con informazioni complete sia sullo stato di fumatrice della madre durante gli ultimi 3 mesi di gravidanza sia sull'asma a 31 e 46 anni, ha riportato che l'esposizione al fumo in gravidanza è un fattore di rischio per insorgenza di asma (OR 9,63; 95% CI 2,28–40,67) nella prole con problemi respiratori pregressi ed anche per compromissione della funzione polmonare a 31 anni di età (FEV_1/FVC : coefficiente β -0.075 (-0.017– -0.006) (10). I rischi per la salute derivanti dall'esposizione prenatale al fumo passivo da sigarette elettronica sono paragonabili a quelli associati all'esposizione passiva al tabacco (11). In tal senso, gli effetti avversi dell'esposizione in gravidanza al *vaping* sono stati molto recentemente riportati in una revisione sistematica con metanalisi (23 studi per un totale di 924.376 partecipanti): 7.552 soggetti hanno segnalato l'uso esclusivo di svapo durante la gravidanza. I risultati dello studio confermano che lo svapo prenatale è stato associato a una probabilità più alta del 53% di un esito neonatale avverso (OR 1,53; 95% CI 1,34–1,76): tra questi, il basso peso alla nascita (OR 1,56; 95% CI 1,28–1,93), il parto pretermine (OR 1,49; 95% CI 1,27–1,76) e la condizione di peso basso per l'età gestazionale (OR 1,48; 95% CI 1,16–1,89) (12).

EFFETTI RESPIRATORI DA SOLA ESPOSIZIONE POSTNATALE

Agache *et al.* hanno riportato che la sola esposizione postnatale aumenta il rischio di asma di nuova insorgenza, soprattutto se entrambi i genitori fumano (evidenza di certezza moderata). Anche il rischio di respiro sibilante ricorrente aumenta quando entrambi i genitori o la madre fumano (evidenza di certezza moderata). Il rischio di ridotta funzionalità polmonare a seguito di fumo passivo postnatale è controverso (6) (Tabella 1). Per quanto riguarda l'effetto sulla funzione polmonare, i risultati di Tashkin *et al.* riportavano una riduzione del FEF_{25-75} di -0,083 nei ragazzi più giovani esposti al fumo materno (13) ed anche i dati dello studio di coorte prospettico di Fernández-Plata *et al.*, il fumo ambientale era associato a una diminuzione media del FEV_1 di 0,30%, equivalente a 6,8 mL (14).

EFFETTI RESPIRATORI DA SOLA ESPOSIZIONE COMBINATA PRENATALE E POSTNATALE

I risultati della Task Force EAACI riportano che l'esposizione combinata in utero e postnatale può aumentare il rischio di asma di nuova insorgenza (evidenza di

bassa certezza) e aumenta il rischio di respiro sibilante ricorrente (evidenza di moderata certezza), sottolineando che tali risultati sono coerenti considerando il fumo materno, ma non quello paterno (6) (Tabella 1). In particolare, lo studio prospettico di coorte di Tanaka *et al.*, che ha esplorato l'associazione tra l'esposizione al fumo di tabacco prenatale e postnatale durante il primo anno di vita e il rischio di respiro sibilante in bambini di età compresa tra 23 e 29 mesi, ha mostrato che quelli esposti al fumo materno durante la gravidanza e che avevano vissuto in epoca postnatale con almeno un fumatore in casa avevano il doppio delle probabilità di sviluppare respiro sibilante (OR 2.04; 95% CI 1.25–3.31) (15).

EFFETTI SUGLI ESITI CORRELATI ALL'ASMA DA ESPOSIZIONE PASSIVA

La revisione sistematica con metanalisi della Task Force EAACI (6) ha mostrato un aumento del rischio di ricattizzazioni gravi dell'asma (ricoveri ospedalieri e visite al pronto soccorso) (16), compromissione del controllo dell'asma (17) e riduzione della funzionalità polmonare a seguito di ETS (evidenza di certezza moderata) (18) (Tabella 2).

L'impatto dell'esposizione *long-term* a ETS è stato studiato da Boskabady *et al.* su novanta bambini asmatici, di cui 32 (8.5 ± 3.5 anni) con genitori fumatori e 58 (8.2 ± 3.3 anni) con genitori non fumatori, riportando che la prevalenza e la gravità di tutti i sintomi respiratori sono aumentate significativamente nei bambini asmatici con genitori fumatori dopo i 3 anni; inoltre, nei bambini con genitori fumatori rispetto a quelli con genitori non fumatori, è stata registrata alla fine del periodo di studio una riduzione statisticamente significativa dei valori di FEV_1 e MEF_{50} ($p < 0,05$) ed una più bassa variazione percentuale per FVC e FEV_1 ($p < 0,05$ per entrambi i casi). (19) Riguardo ai marcatori da esposizione nicotinic, lo studio di Pattermore *et al.* ha dimostrato che il livello di nicotina nei capelli dei bambini esposti era correlato all'esposizione al fumo ed era associato a un aumento del rischio di respiro sibilante (OR 2,2; 95% CI 1,3-3,7) e asma (OR 2,51; 95% CI 1,28–4,90) a 15 mesi (20). Relativamente agli esiti correlati all'asma da esposizione passiva a *vaping*, Di Cicco *et al.* hanno riportato un'associazione tra esposizione allo svapo e diagnosi di asma auto-riferita e/o sintomi respiratori, come tosse e catarro (21). Islam *et al.* hanno riportato che la prevalenza di respiro sibilante, sintomi bronchiali e respiro corto variava rispettivamente dal 12,3% al 14,9%, dal 19,4% al 26,0% e dal 16,5% al 18,1% du-

Tabella 2. Sintesi degli effetti da esposizione passiva sugli esiti correlati all'asma (modificata da 6).

	Esacerbazioni asmatiche gravi	Controllo dell'asma	Bassa funzione polmonare
Rischio di ammissione ospedaliera	Pooled OR 2,83; 95% CI 0,84–9,41		
Rischio di visite al PS, ≥ 1 negli ultimi 12 mesi	Pooled OR 3,06; 95% CI 1,65–5,68		
Rischio di riacutizzazioni	Pooled OR 1,75; 95% CI 1,46–2,10		
Rischio di non controllo		Pooled OR 2,24; 95% CI 1,58–3,23	
Rischio di compromissione del FEV ₁			MD -0,08 L; 95% CI -0,17; 0,02

MD, mean difference; OR, odds ratio.

rante il periodo di studio condotto su 2097 adolescenti/giovani adulti sottoposti a ripetuti sondaggi annuali dal 2014 (età media: 17,3 anni) al 2019 (età media: 21,9 anni); inoltre, l'esposizione passiva allo svapo di nicotina è emersa come fattore di rischio per sintomi bronchiali (OR 1,40; IC 95% 1,06-1,84) e per respiro corto (OR 1,53; IC 95% 1,06-2,21) (22). La recente revisione sistematica con metanalisi di Wills *et al.* ha confermato l'associazione significativa tra l'uso di sigarette elettroniche e l'asma (n=15 studi) con un *pooled* OR 1,39; 95% CI 1,28-1,51 (23).

CONCLUSIONI E NUOVE PROSPETTIVE PER IL FUTURO CON INDICAZIONI PER LA PRATICA CLINICA QUOTIDIANA DEL PEDIATRA

L'esposizione prenatale e postnatale o combinata al fumo di tabacco in differenti modalità aumenta significativamente la probabilità di esordio di asma, respiro sibilante ricorrente e compromissione della funzionalità polmonare. Inoltre, gli effetti avversi dell'esposizione sono molto evidenti anche sugli esiti correlati all'asma, con un aumento del rischio di riacutizzazioni, ridotto controllo dell'asma e danno della funzionalità polmonare. Poiché la funzionalità polmonare è un fattore determinante per la salute, il suo declino va contrastato conoscendo il peso dei fattori di rischio, soprattutto quelli evitabili. In tal senso, i risultati dello studio di Garcia-Aymerich *et al.* su una coorte di 30.438 partecipanti nati tra il 1901 e il 2006 (15.703 [51,6%] femmine e 14.735 [48,4%] maschi; età media 26 [DS 16] anni), che ha fornito un totale di 87.666 osservazioni (intervallo 2–8 osservazioni per partecipante), ha evidenziato un eccessivo declino della funzionalità polmonare nei fu-

matori persistenti rispetto a chi non ha mai fumato (24). L'impegno dei *caregiver* e delle donne in gravidanza deve essere prioritario per evitare qualsiasi esposizione al tabacco, attivando percorsi di cessazione del fumo e abbattimento del fumo *indoor*, soprattutto nelle abitazioni e nelle aree frequentate dai bambini. È importante rafforzare le azioni governative di contrasto alla diffusione incontrollata dei prodotti del tabacco, nicotina, sigaretta elettronica, vietando gli aromi, applicando confezioni anonime e regolamentando il *design* del prodotto, ma anche vietando la pubblicità sui social media e nei luoghi pubblici protetti dal divieto di fumo. Anche per le sigarette elettroniche occorre tenere alta la guardia ed attivare ogni sforzo per ridurre i rischi da esposizione. A tal fine sono importanti le raccomandazioni del *Forum of International Respiratory Societies* (FIRS), le quali ribadiscono la necessità che le sigarette elettroniche siano regolamentate come prodotti del tabacco e incluse nelle politiche antifumo ed affermano che dovrebbero essere vietati: la vendita di sigarette elettroniche ai giovani in tutto il mondo; gli aromi nelle sigarette elettroniche; la pubblicità accessibile ai giovani e ai giovani adulti (25).

Lo sforzo collettivo di tutti gli operatori sanitari, ed in particolare dei Pediatri Pneumologi, può tutelare la salute respiratoria dei bambini e proteggere i soggetti più vulnerabili affetti da malattie respiratorie croniche. Poiché i Pediatri Pneumologi hanno un ruolo cruciale nell'aumentare la percezione dei genitori rispetto ai rischi per la salute dei bambini connessi all'uso e all'esposizione alle differenti modalità di fumo, sigaretta tradizionale, tabacco riscaldato e sigaretta elettronica, le loro azioni dovrebbero essere ancora più incisive in quanto accompagnate dall'aumento della conoscenza e delle corrette procedure per approcciare la disassuefazione al

fumo, al fine, di promuovere la cessazione del fumo tra genitori e i ragazzi (26).

CONFORMITÀ ALLE NORME ETICHE

Conflitto di interessi e finanziamenti

Gli autori dichiarano di non avere alcun conflitto d'interessi e di non avere ricevuto finanziamenti rispetto agli argomenti trattati.

Contributo degli autori

SLG, GF e VM, hanno scritto il manoscritto e revisionato la letteratura scientifica; APa, APe, FS, VL, PA han-

no discusso la traccia dell'articolo, valutato la bibliografia e contribuito alla revisione critica della versione finale dell'articolo.

Disponibilità dei dati pubblicati

I dati a supporto dei risultati di questo studio sono disponibili all'interno dell'articolo.

Dichiarazione di originalità e integrità scientifica

Gli autori attestano l'originalità e integrità scientifica di quanto contenuto nel manoscritto, senza alcun plagio.

BIBLIOGRAFIA

1. GBD 2019 Tobacco Collaborators. Spatial, temporal, and demographic patterns in prevalence of smoking tobacco use and attributable disease burden in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis from the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2021;397(10292):2337-2360. doi: 10.1016/S0140-6736(21)01169-7.
2. GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020 Oct 17;396(10258):1223-1249. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30752-2.
3. Burke H, Leonardi-Bee J, Hashim A, Pine-Abata H, Chen Y, et al. Prenatal and passive smoke exposure and incidence of asthma and wheeze: systematic review and meta-analysis. *Pediatrics*. 2012;129(4):735-44. doi: 10.1542/peds.2011-2196.
4. Gilliland FD, Li YF, Peters JM. Effects of maternal smoking during pregnancy and environmental tobacco smoke on asthma and wheezing in children. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;163(2):429-36. doi: 10.1164/ajrcm.163.2.2006009.
5. McEvoy CT, Spindel ER. Pulmonary Effects of Maternal Smoking on the Fetus and Child: Effects on Lung Development, Respiratory Morbidities, and Life Long Lung Health. *Paediatr Respir Rev*. 2017;21:27-33. doi: 10.1016/j.prv.2016.08.005.
6. Agache I, Ricci-Cabello I, Canelo-Aybar C, Annesi-Maesano I, Cecchi L, et al. The impact of exposure to tobacco smoke and e-cigarettes on asthma-related outcomes: Systematic review informing the EAACI guidelines on environmental science for allergic diseases and asthma. *Allergy*. 2024;79(9):2346-2365. doi: 10.1111/all.16151.
7. Gilliland FD, Berhane K, Li YF, Rappaport EB, Peters JM. Effects of early onset asthma and in utero exposure to maternal smoking on childhood lung function. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;167(6):917-24. doi: 10.1164/ajrcm.200206-616OC.
8. Sunde RB, Thorsen J, Pedersen CT, Stokholm J, Bønnelykke K. Prenatal tobacco exposure and risk of asthma and allergy outcomes in childhood. *Eur Respir J*. 2022 Feb 17;59(2):2100453. doi: 10.1183/13993003.00453-2021.
9. Wada T, Adachi Y, Murakami S, Ito Y, Itazawa T, et al. Japan Environment and Children's Study Group. Maternal exposure to smoking and wheezing phenotypes in children: a cohort study of the Japan Environment and Children's Study. *BMC Pediatr*. 2024;24(1):624. doi: 10.1186/s12887-024-05101-6.
10. Toppila-Salmi S, Luukkainen AT, Xu B, Lampi J, Auvinen J, et al. Maternal smoking during pregnancy affects adult onset of asthma in offspring: a follow up from birth to age 46 years. *Eur Respir J*. 2020;55(6):1901857. doi: 10.1183/13993003.01857-2019.
11. Mescolo F, Ferrante G, La Grutta S. Effects of E-Cigarette Exposure on Prenatal Life and Childhood Respiratory Health: A Review of Current Evidence. *Front Pediatr*. 2021 Aug 20;9:711573. doi: 10.3389/fped.2021.711573.
12. Deprato A, Garud A, Azzolina D, Murgia N, Davenport MH, et al. Associations between vaping during pregnancy and perinatal outcomes: A systematic review and meta-analysis. *J Hazard Mater*. 2025;486:137028. doi: 10.1016/j.jhazmat.2024.137028.
13. Tashkin DP, Clark VA, Simmons M, Reems C, Coulson AH, et al. The UCLA population studies of chronic obstructive respiratory disease. VII. Relationship between parental smoking and children's lung function. *Am Rev Respir Dis*. 1984;129(6):891-7. doi: 10.1164/arrd.1984.129.6.891.
14. Fernández-Plata R, Rojas-Martínez R, Martínez-Briseño D, García-Sancho C, Pérez-Padilla R. Effect of Passive Smoking on the Growth of Pulmonary Function and Respiratory Symptoms in Schoolchildren. *Rev Invest Clin*. 2016;68(3):119-27.
15. Tanaka K, Miyake Y, Furukawa S, Arakawa M. Secondhand smoke exposure and risk of wheeze in early childhood: a prospective pregnancy birth cohort study. *Tob Induc Dis*. 2017 Jul 18;15:30. doi: 10.1186/s12971-017-0138-7.

16. Gerald LB, Gerald JK, Gibson L, Patel K, Zhang S, et al. Changes in environmental tobacco smoke exposure and asthma morbidity among urban school children. *Chest*. 2009;135(4):911-916. doi: 10.1378/chest.08-1869.
17. Lang JE, Dozor AJ, Holbrook JT, Mougey E, Krishnan S, et al. Biologic mechanisms of environmental tobacco smoke in children with poorly controlled asthma: results from a multicenter clinical trial. *J Allergy Clin Immunol Pract*. 2013 Mar;1(2):172-80. doi: 10.1016/j.jaip.2012.11.006.
18. Chilmonczyk BA, Salmun LM, Megathlin KN, Neveux LM, Palomaki GE, et al. Association between exposure to environmental tobacco smoke and exacerbations of asthma in children. *N Engl J Med*. 1993;328(23):1665-9. doi: 10.1056/NEJM199306103282303.
19. Boskabady M, Hajizadeh AA, Ahanchian H, Memarzia A, Jafarnejhad M, et al. The effect of 3-year parental smoking on asthma status of their children. *Clin Respir J*. 2022;16(5):394-401. doi: 10.1111/crj.13492.
20. Pattermore PK, Silvers KM, Frampton CM, Wickens K, Ingham T, et al. Hair nicotine at 15 months old, tobacco exposure and wheeze or asthma from 15 months to 6 years old. *Pediatr Pulmonol*. 2018;53(4):443-451. doi: 10.1002/ppul.23903.
21. Di Cicco M, Sepich M, Beni A, Comberiat P, Peroni DG. How E-cigarettes and vaping can affect asthma in children and adolescents. *Curr Opin Allergy Clin Immunol*. 2022 Apr 1;22(2):86-94. doi: 10.1097/ACI.0000000000000807.
22. Islam T, Braymiller J, Eckel SP, Liu F, Tackett AP, et al. Secondhand nicotine vaping at home and respiratory symptoms in young adults. *Thorax*. 2022;77(7):663-668. doi: 10.1136/thoraxjnl-2021-217041.
23. Wills TA, Soneji SS, Choi K, Jaspers I, Tam EK. E-cigarette use and respiratory disorders: an integrative review of converging evidence from epidemiological and laboratory studies. *Eur Respir J*. 2021 Jan 21;57(1):1901815. doi: 10.1183/13993003.01815-2019.
24. Garcia-Aymerich J, de Las Heras M, Carsin AE, Accordini S, Agustí A, et al. General population-based lung function trajectories over the life course: an accelerated cohort study. *Lancet Respir Med*. 2025:S2213-2600(25)00043-8. doi: 10.1016/S2213-2600(25)00043-8.
25. Ferkol TW, Farber HJ, La Grutta S, Leone FT, Marshall HM, et al. Forum of International Respiratory Societies. Electronic cigarette use in youths: a position statement of the Forum of International Respiratory Societies. *Eur Respir J*. 2018;51(5):1800278. doi: 10.1183/13993003.00278-2018.
26. Cilluffo G, Ferrante G, Cutrera R, Piacentini G, Bignamini E, et al. Barriers and incentives for Italian paediatricians to become smoking cessation promoters: a GARD-Italy Demonstration Project. *J Thorac Dis*. 2020;12:6868-79. doi: 10.21037/jtd-gard-20-003.

REVISIONE

I disturbi respiratori del sonno in età pediatrica

Sleep-disordered breathing in children

Simona **Basilicata**^{1,*}, Melissa **Borrelli**¹, Alessandro **Amaddeo**²

* CORRISPONDENZA:

simonabasilicata@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8431-6653>

DOI

10.63304/PneumolPediatr.2025.18

¹ Dipartimento di Scienze Mediche Traslazionali, Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Italia
² IRCCS materno-infantile Burlo Garofolo, Trieste, Italia

RIASSUNTO

I disturbi respiratori del sonno (SDB) in età pediatrica rappresentano un gruppo eterogeneo di condizioni caratterizzate da un'alterazione della normale respirazione durante il sonno. Tra questi, la sindrome delle apnee ostruttive del sonno (OSAS) è la manifestazione clinicamente più rilevante, con una prevalenza stimata tra lo 0,7% e il 13% nella popolazione pediatrica. I principali fattori di rischio includono l'ipertrofia adenotonsillare, l'obesità e la presenza di comorbidità come malformazioni craniofacciali e patologie neuromuscolari. L'OSAS si associa a numerose complicanze, tra cui deficit neurocognitivi, disturbi comportamentali, problemi metabolici e cardiovascolari. La diagnosi si basa tradizionalmente sulla polisonnografia (PSG), considerata il *gold standard*, ma la scarsa disponibilità di tale metodica ha stimolato la diffusione di strumenti alternativi quali l'ossimetria notturna e i questionari validati. Il trattamento varia in base al fenotipo clinico e alla severità del disturbo: l'adenotonsillectomia è indicata nei bambini sani con ipertrofia adenotonsillare, mentre nei casi più complessi si ricorre a terapia farmacologica, ventilatoria (CPAP, NIV) o a chirurgia specialistica. Meno frequenti ma altrettanto importanti sono la sindrome delle apnee centrali e i disturbi respiratori del sonno in pazienti con patologia neuromuscolare. Queste due condizioni sono molto più frequenti in bambini di età scolare e il loro riconoscimento e trattamento è di cruciale importanza. Il ruolo del pediatra di famiglia è fondamentale per il riconoscimento precoce e l'avvio a percorsi specialistici adattati.

ABSTRACT

Obstructive sleep-disordered breathing (SDB) in children encompasses a heterogeneous group of conditions characterized by altered respiratory patterns during sleep. Among these, obstructive sleep apnea syndrome (OSAS) represents the most clinically significant manifestation, with an estimated prevalence ranging from 0.7% to 13% in the pediatric population. Major risk factors include adenotonsillar hypertrophy, obesity, and the presence of comorbidities such as craniofacial abnormalities and neuromuscular disorders. OSAS is associated with a wide range of complications, including neurocognitive deficits, behavioral disorders, as well as metabolic and cardiovascular problems.

Diagnosis traditionally relies on polysomnography (PSG), considered the gold standard. However, limited availability has led to the increased use of alternative tools such as overnight oximetry and validated questionnaires. Treatment should be tailored to the clinical phenotype and severity of the disorder. Adenotonsillec-

PAROLE CHIAVE

Disturbi respiratori del sonno; sindrome delle apnee ostruttive notturne; ipertrofia adenotonsillare; polisonnografia; continuous positive airway pressure (CPAP).

KEY WORDS

Sleep disordered breathing; obstructive sleep apnea syndrome; adenotonsillar hypertrophy; polysomnography; continuous positive airway pressure (CPAP).

tomy is indicated in otherwise healthy children with adenotonsillar hypertrophy, while more complex cases may require pharmacological therapy, noninvasive ventilation (CPAP, NIV), or specialized surgical interventions. Less common but equally important are central sleep apnea syndrome and sleep-related breathing disorders in patients with neuromuscular disease. These two conditions are much more common in school-aged children with associated pathologies, and their recognition and treatment are crucial. The role of the family pediatrician is fundamental for early recognition and initiation of tailored specialist pathways.

INTRODUZIONE

I disturbi respiratori del sonno (sleep-disordered breathing, SDB) costituiscono un gruppo eterogeneo di condizioni caratterizzate da un'alterata respirazione durante il sonno. I disturbi respiratori ostruttivi del sonno (DRS) in età pediatrica sono divisi in quattro forme cliniche: russamento primario, sindrome da aumentata resistenza delle alte vie aeree, ipoventilazione ostruttiva e sindrome delle apnee ostruttive del sonno (OSAS) (1). Il russamento primario (RP) è definito come la presenza di russamento abituale per più di tre notti a settimana, in assenza di eventi apnoici o ipopnoici, alterazioni della qualità del sonno o anomalie dello scambio gassoso. Sebbene sia tradizionalmente considerato una manifestazione benigna, recenti studi suggeriscono che anche il RP possa essere associato a modesti deficit neurocognitivi e comportamentali, evidenziando l'importanza di un'attenta valutazione clinica anche in assenza di segni tipici di OSAS. La sindrome da aumentata resistenza delle alte vie aeree (UARS, Upper Airway Resistance Syndrome) si caratterizza per la presenza di russamento associato a un aumento del lavoro respiratorio e a micro-risvegli frequenti durante il sonno, senza apnee o ipopnee evidenziabili strumentalmente. I sintomi diurni più comunemente riportati includono irritabilità, deficit di attenzione, iperattività, sonnolenza diurna e impulsività, rendendo questa condizione clinicamente rilevante nonostante l'assenza di marcate alterazioni respiratorie.

L'ipoventilazione ostruttiva (IO) è definita dalla presenza di russamento accompagnato da un incremento patologico della pressione parziale di anidride carbonica (PetCO₂ o PtcCO₂), senza evidenza di apnee o ipopnee. Questa entità rappresenta una forma di compromissione ventilatoria notturna che può determinare un

sovraccarico respiratorio cronico e necessita di una diagnosi accurata, in particolare nei bambini con comorbidità neuromuscolari o obesità.

Infine, l'OSAS è la forma clinicamente più significativa e maggiormente studiata tra i DRS pediatrici. L'OSAS rappresenta la forma più grave dello spettro dei DRS, è definita dalla presenza di episodi ricorrenti di ostruzione parziale (ipopnea) o completa (apnea) delle alte vie aeree, associati a desaturazioni ossiemoglobiniche, risvegli transitori e alterazioni dell'architettura del sonno (1, 2). L'interesse verso l'OSAS in età evolutiva è cresciuto significativamente negli ultimi anni, parallelamente al consolidarsi dell'evidenza scientifica sul suo impatto multisistemico. Studi osservazionali e prospettici hanno evidenziato un'associazione tra OSAS pediatrica e complicanze neurocognitive, comportamentali, metaboliche e cardiovascolari, che ne fanno una condizione potenzialmente gravata da conseguenze a lungo termine (3). La prevalenza stimata dell'OSAS nei bambini varia dallo 0.7% al 13% (1, 3), con picchi in età prescolare, in particolare nei soggetti con ipertrofia adenotonsillare, ma anche nei bambini con condizioni predisponenti come l'obesità, le anomalie craniofacciali, le malattie neuromuscolari e le sindromi genetiche.

I DISTURBI RESPIRATORI OSTRUTTIVI

Fenotipi

L'OSAS in età pediatrica presenta caratteristiche fenotipiche eterogenee. In particolare, si identificano tre principali fenotipi, utili per orientare la valutazione e il trattamento (4, 5) (Tabella 1):

- Tipo 1: riguarda prevalentemente bambini in età prescolare, normopeso, con ipertrofia adenotonsillare

Tabella 1. Differenti fenotipi di OSAS in età pediatrica ((5), modificata).

	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Età tipica	Età prescolare	Età scolare, adolescenza	Tutte le età
Fattori predisponenti	Ipertrofia adeno-tonsillare	Obesità truncale	Malformazioni congenite/ sindromi malformative
Sintomi cognitivi e comportamentali	Iperattività	Sonnolenza, depressione	Poco definita, copresenza di comorbidità associate

come fattore predominante. Si manifesta con russamento, respiro orale e sonno agitato. Il trattamento di prima linea è l'adenotonsillectomia, che risulta spesso risolutiva.

- Tipo 2: interessa bambini e adolescenti con obesità, soprattutto centrale, che presentano sonnolenza diurna, disturbi cognitivi e rischio aumentato di complicanze cardiometaboliche. Spesso si associa ipoventilazione alveolare. La gestione prevede interventi mirati alla perdita di peso attraverso un supporto multidisciplinare e, nei casi più gravi un supporto ventilatorio tramite continuous positive airway pressure (CPAP).
- Tipo 3 o complessa: è caratteristica di bambini con comorbidità complesse sottostanti, come patologie genetiche, neurologiche, neuromuscolari o malformazioni craniofacciali. In questi casi la patogenesi dell'OSAS è multifattoriale, si manifesta con sintomi talvolta sfumati o difficili da intercettare ed esiti più severi.

Fisiopatologia dei disturbi respiratori ostruttivi

La fisiopatologia dei disturbi respiratori ostruttivi del sonno (DRS), è complessa e multifattoriale. I meccanismi che portano all'ostruzione delle vie aeree superiori durante il sonno derivano dall'interazione di fattori anatomici, neuromuscolari, funzionali e talvolta genetici.

Nei bambini, le vie aeree superiori - comprendenti naso, faringe e laringe - presentano caratteristiche anatomiche e funzionali peculiari rispetto all'adulto. La faringe, in particolare, è un segmento collassabile privo di supporto osseo, la cui pervietà è mantenuta dall'equilibrio tra forze che tendono a collassarla e l'attività dei muscoli dilatatori faringei (es. genioglosso, palatofaringeo). Durante la veglia, questi muscoli sono attivi e mantengono il lume faringeo aperto anche in presenza di fattori ostruttivi (come l'ipertrofia adenotonsillare o l'adiposità faringea). Tuttavia, durante il sonno - e in particolare nelle fasi REM - si osserva una fisiologica riduzione del tono muscolare, che porta a un restringimento dinamico del lume faringeo e a un aumento delle resistenze delle alte vie aeree (6).

Questo meccanismo è accentuato nei bambini predisposti, nei quali esiste un disallineamento tra la crescita delle strutture linfatiche (tonsille e adenoidi) e lo sviluppo dello scheletro facciale. Questo squilibrio può provocare una stenosi delle vie aeree superiori, più marcata in posizione supina. Analogamente, condizioni come l'obesità comportano un aumento del tessuto adiposo peri-faringeo e mediastinico, che contribuisce alla compressione extrinseca delle vie aeree e alla riduzione della compliance toracica.

Durante gli episodi di ostruzione, il flusso aereo diventa turbolento, con conseguente russamento. Il peggioramento dell'ostruzione determina ipoventilazione, ipercapnia e/o desaturazione, che dovrebbero attivare un feedback centrale tramite i chemocettori e aumentare l'attività muscolare dilatatoria. Nei bambini con OSAS questo meccanismo compensatorio risulta inefficace, con conseguente collasso ripetuto delle vie aeree, micro-risvegli e frammentazione del sonno.

Oltre ai fattori anatomici e funzionali, in alcuni casi giocano un ruolo rilevante anche alterazioni neuromotorie (come nelle paralisi cerebrali o nelle miopatie), difetti di controllo centrale (es. sindrome di Prader-Willi), e fattori genetici.

Complicanze

I disturbi respiratori del sonno (DRS) in età pediatrica, e in particolare la loro forma più grave, l'OSAS, possono essere associati a un ampio spettro di complicanze che coinvolgono più sistemi dell'organismo. La frammentazione del sonno e l'ipossiemia intermittente, caratteristiche tipiche dei DRS, sono i principali meccanismi che contribuiscono a danni multisistemici. Diversi studi hanno evidenziato che anche forme di OSAS lievi possono avere effetti negativi sulle funzioni neurocognitive e comportamentali compromettendo le funzioni esecutive e l'attenzione selettiva (7). Già in età prescolare, la presenza di russamento abituale si può associare a difficoltà cognitive (8). È stata inoltre riscontrata una correlazione tra sintomi di DRS e manifestazioni di iperattività e disattenzione, sia in ambito clinico sia nella popolazione generale di bambini e adolescenti (9, 10). La frammentazione del sonno e in particolare il difetto di sonno profondo (stadio 3) comporta una diminuzione dei livelli di IGF-1 responsabile di un difetto di crescita, peraltro almeno in parte reversibile dopo adenotonsillectomia (11). Infine nei bambini obesi affetti da OSAS si è osservata una maggiore prevalenza di insulino-resistenza, dislipidemia e steatosi epatica rispetto ai controlli obesi senza apnee (12, 13), indicando che la presenza di disturbi respiratori notturni possa aumentando il rischio di complicanze cardio-metaboliche precoci.

Diagnosi

La diagnosi di OSAS si basa su criteri clinici e strumentali. La polissonnografia (PSG) è il *gold standard* diagnostico (2) e prevede la registrazione dei seguenti parametri:

- attività cerebrale tramite elettroencefalogramma (EEG);
- movimenti oculari con elettrooculogramma (EOG);
- attività muscolare (mentoniera e arti inferiori) con elettromiografia (EMG);

- attività cardiaca con ECG a due derivazioni;
- saturazione periferica di ossigeno con pulsossimetro;
- flusso aereo mediante termistore oro-nasale e trasduttore di pressione nasale;
- movimenti toracici e addominali con pletismografia a induzione;
- posizione corporea con sensori automatici o attigrafia;
- video-registrazione per l'osservazione diretta del bambino durante il sonno, utile a documentare postura, risvegli, movimenti anomali ed eventi respiratori non rilevabili dai sensori.

In aggiunta a tali canali l'American Academy of Sleep Medicine (AASM) consiglia il monitoraggio della CO₂. Esistono due metodiche per ottenere questo dato. La prima è la misurazione della CO₂ transcutanea (TcCO₂) permette di ottenere i valori medi, massimi e minimi durante tutta la notte fornendo un *trend* molto utile, soprattutto nei pazienti con sospetta o probabile ipoventilazione alveolare. L'altra metodica frequentemente utilizzata è la misurazione della CO₂ esalata (end-tidal CO₂ o ETCO₂) attraverso delle cannule apposite. Questa seconda metodica permette di avere un valore di anidride carbonica in tempo reale a ogni respiro, tanto da poter essere utilizzato anche come sensore per il riconoscimento delle apnee.

I criteri di analisi sono stabiliti dall'AASM (2) e sono specifici dell'età pediatrica fino ai 18 anni. Per porre diagnosi è necessario soddisfare dei criteri clinici e strumentali. Tra i criteri clinici rientrano: russamento abituale, respiro difficoltoso o rumoroso durante il sonno, sonnolenza diurna, iperattività o disturbi comportamentali e dell'apprendimento. La diagnosi strumentale si basa sulla presenza alla PSG di almeno un'apnea ostruttiva, mista o ipopnea per ogni ora di sonno, oppure su un quadro di ipoventilazione ostruttiva, caratterizzato da un tempo $\geq 25\%$ del sonno con ipercapnia (PtcCO₂ >50 mmHg), associata a segni indicativi di ostruzione, come russamento o respiro paradossale. Per valutare la gravità dell'OSAS si utilizza l'indice di apnea-ipopnea (AHI), che indica il numero medio di eventi respiratori per ora di sonno:

- OSAS lieve: AHI tra 1 e 5;
- OSAS moderata: AHI tra 5 e 10;
- OSAS severa: AHI >10.

Strumenti diagnostici alternativi

Vista la complessità dell'indagine, sia in termini di costi, sia di tempo che di necessità di personale altamente formato nell'analisi del tracciato, sono sempre più utilizzati strumenti alternativi (14).

Poligrafia respiratoria notturna

La poligrafia respiratoria notturna (rPG) non analizza le fasi del sonno, monitorando esclusivamente l'attività cardiorespiratoria e i movimenti corporei. Una delle principali criticità della rPG è proprio l'impossibilità di monitorare direttamente le fasi del sonno. Per tale ragione, il tempo totale di registrazione (total recording time, TRT) viene utilizzato come surrogato del tempo totale di sonno (total sleep time, TST), portando potenzialmente a una sovrastima di quest'ultimo e, quindi, a una sottostima dell'AHI.

Inoltre, la rPG è meno sensibile nell'identificazione delle ipopnee, quando queste si associano ad alterazioni elettroencefalografiche corticali che possono essere rilevate unicamente dall'EEG. Questo aspetto comporta il rischio di sottovalutare la gravità dell'OSAS nei soggetti pediatrici con presentazioni cliniche sfumate o con forme caratterizzate prevalentemente da ipopnee ostruttive. Gudnadottir *et al.* (15) (2019) ha evidenziato che la rPG, pur mostrando una buona concordanza con la PSG nella diagnosi di OSAS moderato-severo, risulta meno affidabile nei quadri lievi o in presenza di comorbidità, in particolare per la difficoltà nel riconoscimento delle ipopnee e nella discriminazione tra eventi centrali e ostruttivi. Alcuni autori (16) ne suggeriscono l'uso come primo step diagnostico domiciliare in bambini con elevata probabilità clinica di OSAS, sottolineando tuttavia la necessità di conferma mediante PSG nei casi dubbi o complessi. Nonostante queste siano le raccomandazioni dell'AASM, la realtà clinica della maggior parte dei paesi vede un utilizzo sempre più crescente della rPG, sia in contesto sorvegliato durante ricovero ma anche come test ambulatoriale, con ottima sensibilità e specificità. Appare quindi ragionevole utilizzare sempre di più la rPG, soprattutto se interpretata da specialisti in medicina del sonno pediatrica (1, 5).

Pulsiossimetria notturna

La pulsiossimetria notturna continua misura la frequenza cardiaca, l'ampiezza della pletismografia e la saturazione di ossigeno (SpO₂). Attraverso l'analisi dei dati rilevati alla SpO₂ media, minima e soprattutto alla presenza di desaturazioni di più del 3% permette di identificare con elevata sensibilità e specificità l'OSAS moderata e severa. In particolare, a partire dal 2004 è stato proposto uno score (McGill score) basato sulla presenza di episodi di desaturazione (*clusters*) con valori soglia al di sotto di differenti livelli di SpO₂ per differenziare con sufficiente sensibilità e specificità la severità dell'OSAS e soprattutto indirizzare i pazienti a un eventuale intervento o ulteriore approfondimento diagnostico (1, 17).

In ogni caso le sempre più crescenti possibilità tecnologiche stanno introducendo un'ampia gamma di strumenti indossabili e semplificati, che nel prossimo futuro renderanno sempre più fruibili esami del sonno semplificati ma estremamente affidabili (18, 19) (Tabella 2, Figura 1).

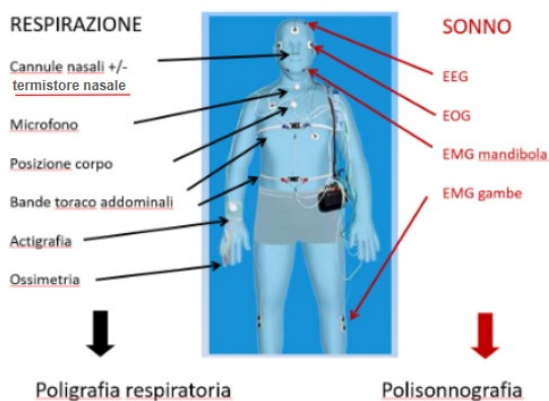


Figura 1. Differenza tra poligrafia respiratoria e polisonnografia (adattata dagli autori).

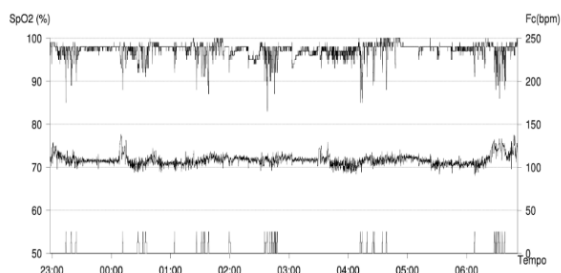


Figura 2. Esempio di tracciato saturometrico con score di McGill 2 (>3 cluster di desaturazione <90%), indicativo di OSAS moderata.

Tabella 2. Score di McGill (17).

Score Ossimetrico	Commento Clinico	Criteri	Raccomandazione
1	Studio normale / non conclusivo per OSA	<3 cali di SpO ₂ <90% 0 cali di SpO ₂ <85% Tracciato basale stabile (<3 cluster di desaturazioni) e SpO ₂ >95%	Valutazione aggiuntiva del respiro durante il sonno per escludere OSA
2	OSA lieve	≥3 cali di SpO ₂ <90% ≤3 cali di SpO ₂ <85% ≥3 cluster di desaturazioni	Consigliare adenotonsillectomia (T&A) e inserimento in lista d'attesa
3	OSA moderata	≥3 cali di SpO ₂ <90% ≤3 cali di SpO ₂ <80% ≥3 cluster di desaturazioni	Raccomandare intervento chirurgico entro 2 settimane
4	OSA severa	≥3 cali di SpO ₂ <90% >3 cali di SpO ₂ <80% ≥3 cluster di desaturazioni	Raccomandare intervento chirurgico urgente (entro pochi giorni)

Questionari

I questionari, come il Pediatric Sleep Questionnaire (PSQ), possono risultare utili come screening soprattutto nei bambini senza comorbidità e rappresentano un utile strumento in mano al pediatra di libera scelta (20). Il PSQ, sviluppato da Chervin *et al.*, è un questionario compilato dai genitori composto da domande a risposta chiusa che indagano la presenza di russamento notturno, sonno non ristoratore e sonnolenza diurna, problemi comportamentali e attenzione.

Il PSQ viene utilizzato sia come strumento di screening in contesti clinici e di ricerca, soprattutto quando non è disponibile una PSG che come supporto nella valutazione iniziale di bambini con sintomi sospetti di OSAS. I limiti diagnostici sono la sensibilità e specificità variabili in base alla popolazione studiata, che possono diminuire in bambini con comorbidità neurologiche, sindromiche o neuromuscolari; bias di genitore/caregiver (soggettività delle risposte, soprattutto in assenza di osservazione notturna diretta); mancanza di precisione nel definire la gravità dell'OSA.

Drug-induced sleep endoscopy (DISE)

La Drug-Induced Sleep Endoscopy (DISE) rappresenta uno strumento diagnostico impiegato soprattutto nei casi refrattari all'adenotonsillectomia o in presenza di condizioni anatomiche complesse. Effettuata in sedazione farmacologica, la DISE consente di osservare in modo dinamico le vie aeree superiori durante una condizione che simula il sonno naturale, permettendo di individuare con precisione i siti e i meccanismi di collasso ed evidenziare alterazioni specifiche come laringomalacia, recidiva dell'ipertrofia adenoidea, ostruzione a livello della base della lingua e collasso faringeo (1). In particolare, la DISE trova indicazione nei bambini con sede di ostruzione non chiara delle vie aeree superio-

ri dopo adenotonsillectomia, consentendo di identificare le sedi residue di ostruzione, spesso multiple e non limitate alle tonsille, come il collasso del palato molle, della base linguale, l'epiglottide o la laringomalacia. Altre condizioni meno frequenti ma rilevabili con la DISE includono disfunzioni non organiche delle corde vocali (es. movimenti paradossi delle corde) o alterazioni inspiegabili della dinamica glottica durante il sonno (21). La DISE può essere impiegata anche in fase pre-operatoria per valutare l'indicazione a eseguire la tonsillectomia nei bambini con tonsille piccole o fibrotiche, nei quali esiste il rischio di ipertrofia compensatoria dopo la sola adenoidectomia. Infine, la DISE trova indicazione nei bambini a rischio elevato di OSAS residua post-operatoria, come quelli con obesità, sindrome di Down, malattie neuromuscolari, anomalie craniofacciali o OSAS grave pre-operatoria, nei quali è più frequente la persistenza di apnea ostruttiva dopo la chirurgia tradizionale. I principali limiti diagnostici della DISE riguardano la mancanza di protocolli standardizzati per la sedazione, la classificazione dei reperti e l'interpretazione dei risultati. Inoltre, l'esame è caratterizzato da una significativa variabilità inter-operatoria, con differenze nell'interpretazione dei reperti endoscopici tra i vari centri e specialisti. Alla luce delle evidenze attuali, la DISE è indicata principalmente nei casi di OSAS complessa o persistente dopo trattamento chirurgico, dove può offrire un contributo utile alla definizione del percorso terapeutico. Altri esami di secondo livello mirati a una migliore definizione anatomica e funzionale del livello di ostruzione delle alte vie sono ad esempio la risonanza magnetica delle vie aeree superiori o una TAC o la fibroscopia nasofaringea. Tutte queste ultime metodiche sono ovviamente riservate a casi particolari e devono essere eseguite su precise indicazioni cliniche e in centri specialistici.

TRATTAMENTO

Watchful waiting

Nei casi lievi o moderati, particolarmente in bambini asintomatici e senza comorbidità, è giustificato un approccio conservativo iniziale di almeno 6 mesi con educazione a norme di igiene del sonno e trattamento delle comorbidità quali asma o allergie respiratorie. Tale approccio si basa sui risultati del trial "Childhood Adenotonsillectomy Trial (CHAT)" (22), nel quale quasi 500 bambini tra i 5 e i 9 anni con una diagnosi di OSAS sono stati randomizzati a un trattamento chirurgico o a una strategia di vigile attesa. Sebbene nel gruppo trattato chirurgicamente vi fosse un miglioramento dei sintomi diurni e della qualità di vita non vi era differenza in ter-

mini di *outcome* neurocognitivi tra i due gruppi. In ogni caso, l'approccio conservativo deve essere necessariamente accompagnato da una rivalutazione clinica ed eventualmente strumentali dopo almeno 6 mesi (23-25).

Adenotonsillectomia (AT)

L'adenotonsillectomia rappresenta il trattamento di prima linea per l'OSAS moderata severa nei bambini altrimenti sani, con evidenza clinica e/o strumentale di ipertrofia adenotonsillare. La procedura è indicata in particolare nei pazienti in età prescolare, normopeso, con sintomi notturni (russamento, apnee osservate) e diurni (difficoltà attentive, iperattività), in assenza di comorbidità significative. Numerosi studi confermano l'efficacia dell'intervento nel migliorare la qualità del sonno, i parametri polisonnografici e i disturbi comportamentali. Una metanalisi recente ha evidenziato una significativa riduzione dell'indice apnea-ipopnea (AHI) e un miglioramento del nadir della saturazione di ossigeno dopo chirurgia, con beneficio clinico documentato anche a medio termine (23). Anche in bambini con OSAS lieve-moderata, selezionati in base al quadro clinico e alla disponibilità di monitoraggio post-operatorio, l'intervento ha dimostrato un impatto positivo sui sintomi e sulla qualità di vita (26). Tuttavia, è noto che una quota di pazienti può presentare OSAS residua, definita come persistenza di sintomi e di un indice AHI superiore a 1.5/h soprattutto in presenza di obesità, anomalie craniofacciali o malformazioni delle vie aeree (25). In tali casi è fondamentale un *follow-up* multidisciplinare con eventuale integrazione di terapie mediche o ventilatorie.

Terapia medica

Sebbene esistano numerosi studi riguardanti la terapia medica con corticosteroidi intranasali e antileucotrieni, utilizzati singolarmente o in combinazione, il loro utilizzo nel contesto dell'OSAS pediatrica è ancora oggetto di discussione e principalmente indicata nei casi di OSAS lieve o moderata, oppure nei pazienti con OSAS residua dopo adenotonsillectomia (27, 28). I dati disponibili derivano in gran parte da studi di piccole dimensioni o non controllati, ma due trial randomizzati (29, 30) e revisioni sistematiche (31) hanno mostrato una riduzione significativa dell'indice apnea-ipopnea (AHI) nei pazienti trattati, con miglioramenti anche della saturazione notturna e della qualità del sonno. L'efficacia del trattamento appare minore nei bambini obesi e nei soggetti di età superiore a 7-8 anni, dove probabilmente il ruolo dell'ipertrofia adenotonsillare è ridotto. Inoltre, sebbene rari, gli effetti collaterali neuropsichiatrici del montelukast devono essere considerati nel bilancio rischio-beneficio, soprat-

tutto nel trattamento a lungo termine. In questo contesto, la terapia medica anti-infiammatoria può rappresentare un'opzione valida in casi selezionati, specialmente quando l'intervento chirurgico non è indicato o è stato già eseguito senza risoluzione completa della sintomatologia.

CPAP e ventilazione non invasiva (NIV)

La ventilazione a pressione positiva continua (CPAP) e la ventilazione non invasiva (NIV) rappresentano una strategia terapeutica efficace nei bambini con OSAS moderata-severa non candidabili all'intervento chirurgico o con OSAS persistente dopo adenotonsillectomia. In particolar modo, nei pazienti pediatrici con OSAS sindromica o con comorbidità (OSAS di tipo 3), l'opzione chirurgica rimane il trattamento di prima linea. Tuttavia, qualora la chirurgia non sia definitiva o addirittura in assenza di possibilità terapeutiche chirurgiche a causa della complessità clinica o anatomica dei pazienti, CPAP e NIV rappresentano una strategia terapeutica efficace (32). Un recente studio multicentrico francese su scala nazionale ha analizzato l'utilizzo della ventilazione non invasiva a lungo termine in un'ampia coorte pediatrica con OSAS di tipo I e tipo II (33). I dati, raccolti da oltre 50 centri specializzati, hanno confermato l'efficacia della CPAP/NIV nel migliorare i parametri respiratori notturni e la qualità della vita nei pazienti con OSAS complessa e con OSAS di tipo II, spesso refrattari alla sola chirurgia.

Strategie chirurgiche alternative

Nei bambini con OSAS persistente dopo adenotonsillectomia, in particolare se affetti da malformazioni craniofacciali o sindromi genetiche, può essere necessario ricorrere a strategie chirurgiche alternative, mirate a correggere specifici siti di ostruzione delle vie aeree superiori. Tali approcci devono essere personalizzati sulla base di una valutazione anatomo-funzionale approfondita che deve necessariamente essere condotta in centri specializzati con *team* multidisciplinari dedicati. Tra le procedure chirurgiche più frequentemente impiegate nei pazienti con anomalie craniofacciali si possono citare:

- tonsillectomia linguale, frequentemente utilizzata nei pazienti con sindrome di Down o obesità;
- uvulopalatofaringoplastica, indicata in presenza di collasso orofaringeo documentato;
- distrazione mandibolare o maxillofacciale, utilizzata nei bambini con micrognazia o in malformazioni sindromiche come Pierre-Robin;
- supraglottoplastica, indicata in caso di laringomalacia persistente.

Strategie terapeutiche alternative

Tra le strategie terapeutiche alternative per il trattamento dell'OSAS in età pediatrica rientrano approcci non chirurgici che possono essere indicati in casi selezionati. La espansione rapida del palato (Rapid Palatal Expansion, RPE) è considerata un trattamento ortopedico-ortodontico e non chirurgico, utile in presenza di alterazioni anatomiche come il palato stretto. Altri interventi comprendono la terapia miofunzionale, mirata a migliorare il tono e la funzione dei muscoli orofaringei, e la gestione nutrizionale, particolarmente indicata nei bambini con eccesso ponderale e OSAS di tipo 2, dove la riduzione del peso può contribuire al miglioramento dei sintomi respiratori notturni.

OSA PERSISTENTE IN ETÀ PEDIATRICA

Sebbene non vi sia una definizione universalmente accettata per il fenomeno dell'OSA persistente in età pediatrica, Ersu *et al.* la definiscono come la presenza di sintomi clinici e/o alterazioni polisomnografiche suggestive di OSA dopo intervento di adenotonsillectomia, che rappresenta il trattamento di prima linea nella maggior parte dei bambini con OSAS (34). La prevalenza varia in base alla popolazione studiata, ma studi recenti indicano che fino al 30-50% dei bambini sottoposti ad adenotonsillectomia può presentare residua OSA, più frequentemente in presenza di comorbidità.

Fattori di rischio

Tra i principali fattori di rischio alla base dell'OSA persistente si riconoscono:

- eccesso ponderale: l'obesità e il sovrappeso aumentano la resistenza delle vie aeree superiori e riducono la compliance faringea;
- anomalie craniofacciali (es. micrognazia, retrognazia, sindromi genetiche come la sindrome di Down);
- condizioni neuromuscolari o neurocognitive: come paralisi cerebrale o ipotonia;
- infiammazione cronica e allergie: che possono contribuire a edema delle vie aeree.

Strategie terapeutiche

Il trattamento dell'OSA persistente richiede un approccio individualizzato, guidato dalla valutazione polisomnografica, dal fenotipo clinico e dalla presenza di comorbidità. Le principali opzioni includono:

- Terapia ventilatoria non invasiva: la CPAP rappresenta il trattamento di riferimento nei casi moderati-gravi, sebbene l'aderenza possa essere limitata nei bambini. È efficace nel ridurre i sintomi e le de-

saturazioni notturne, ma può interferire con la crescita craniofacciale a lungo termine.

- Opzioni chirurgiche avanzate: come la riduzione linguale, la epiglottopexia, l'espansione rapida del palato (RPE) nei casi con palato ogivale, o la tonsillectomia di revisione in caso di tessuto residuo.
- Terapie mediche: includono l'uso di corticosteroidi intranasali, montelukast nei bambini con componente infiammatoria, o decongestionanti.
- Strategie terapeutiche alternative: tra cui terapia miofunzionale, programmi nutrizionali personalizzati, e tecniche comportamentali per migliorare l'aderenza alla CPAP.

Approccio multidisciplinare

La gestione dell'OSA persistente richiede un approccio multidisciplinare coordinato, che preveda il coinvolgimento di diverse figure specialistiche. Lo pneumologo pediatra o lo specialista in medicina del sonno hanno un ruolo centrale nell'inquadramento diagnostico e nella definizione del percorso terapeutico. L'otorinolaringoiatra è fondamentale per la valutazione delle strutture anatomiche delle vie aeree superiori e per la pianificazione di eventuali interventi chirurgici. Nei casi in cui siano presenti alterazioni scheletriche del massiccio facciale, è indicata la consulenza dell'ortodontista o del chirurgo maxillo-facciale. In presenza di obesità o sovrappeso, il contributo del nutrizionista pediatrico è essenziale per attuare strategie di intervento mirate. La riabilitazione miofunzionale orofacciale, affidata a un logopedista o a un fisioterapista specializzato, può contribuire al miglioramento del tono muscolare e della funzionalità respiratoria. Infine, nei casi in cui sia necessario favorire l'aderenza al trattamento ventilatorio, come la CPAP, può risultare utile il supporto di uno psicologo o di un terapeuta comportamentale.

SINDROME DELLE APNEE CENTRALI

Sebbene il disturbo respiratorio del sonno (SDB) classifichi tutti gli eventi respiratori anomali, includendo quindi sia gli eventi ostruttivi che centrali, gli eventi respiratori ostruttivi sono molto più comuni di quelli centrali nei bambini (con l'eccezione delle apnee centrali fisiologiche nei neonati e nei neonati prematuri). Tuttavia, le apnee centrali del sonno (CSA) possono essere osservate in alcuni bambini che presentano disturbi specifici e rappresentano circa il 5% dei SDB in molte casistiche (35). Sebbene i meccanismi precisi coinvolti nei vari tipi di CSA possano variare considerevolmente, un controllo ventilatorio instabile durante il sonno rappresenta una caratteristica sottostante fondamentale. Nei bambini, le apnee centrali sono comuni durante il periodo neonatale, specialmente nei neonati pre-

maturi e possono essere osservate come apnee isolate o come respirazione periodica instabile. Questa entità è chiamata "apnee del prematuro" e il meccanismo sottostante le CSA nel neonato probabilmente coinvolge una chemio-reazione immatura all'anidride carbonica (CO_2) e all'ossigeno (O_2), data la risoluzione spontanea tra le 36 e le 43 settimane di età gestazionale. Con la progressiva maturazione cerebrale, le apnee centrali diminuiscono fisiologicamente con l'aumento dell'età ma possono persistere nei bambini con disturbi congeniti o acquisiti che compromettono il controllo ventilatorio. Uno dei migliori esempi di questo meccanismo è la sindrome da ipoventilazione centrale congenita (CCHS), un raro disturbo genetico del controllo respiratorio caratterizzato da una disfunzione del sistema nervoso autonomo e uno sviluppo compromesso delle cellule derivate dalla cresta neurale (neurocristopatia). Questo disturbo è causato da una mutazione di espansione della ripetizione di poli-alanina (PARMs) del gene PHOX2B e porta nella sua forma classica a una dipendenza completa dal supporto ventilatorio a causa delle CSA e dell'ipoventilazione. Altre cause di CSA in età pediatrica comprendono malattie associate a compressione del tronco encefalico o immaturità del sistema nervoso centrale, come la malformazione di Arnold-Chiari, la mucopolisaccaridosi o l'acondroplasia, la sindrome di Prader-Willi e l'ipotiroidismo.

Va notato che, in alcune di queste sindromi e in generale in pazienti complessi, la sindrome delle apnee ostruttive del sonno (OSAS) e le apnee centrali del sonno (CSA) possono coesistere, a causa della presenza di ostruzione delle vie aeree superiori e di un controllo ventilatorio deficitario. Le due forme di apnea condividono alcuni meccanismi fisiopatologici centrali, quali l'instabilità del controllo ventilatorio rappresenta un fattore comune: una risposta eccessiva del sistema respiratorio ai cambiamenti dei gas ematici (CO_2/O_2) può innescare oscillazioni periodiche della ventilazione, con alternanza di iperventilazione e apnea (36). Inoltre, in entrambi i fenotipi può essere presente una vulnerabilità anatomica delle vie aeree superiori, che favorisce l'ostruzione anche in presenza di componenti centrali. Nel contesto delle CSA in età pediatrica, è frequente l'associazione con il respiro periodico, soprattutto in bambini con patologie neurologiche o malformazioni del sistema nervoso centrale. Uno studio retrospettivo su un'ampia coorte di polisonnografie pediatriche ha evidenziato che oltre l'80% dei pazienti con CSA presentava anche respirazione periodica (37). Tali pattern respiratori centrali, spesso indipendenti da eventi ostruttivi, richiedono un'accurata caratterizzazione tramite polisunnografia e un approccio terapeutico mirato, variabile in base all'eziologia sottostante.

DISTURBI RESPIRATORI DEL SONNO NEL PAZIENTE AFFETTO DA PATOLOGIA NEUROMUSCOLARE

I disturbi neuromuscolari (NMD) rappresentano un gruppo eterogeneo di malattie congenite e acquisite che colpiscono il sistema nervoso periferico (PNS), le giunzioni neuromuscolari e i muscoli scheletrici.

Dal punto di vista fisiopatologico, la debolezza dei muscoli respiratori può coinvolgere diversi distretti in maniera differente a seconda del tipo di malattia e con conseguenze molto variabili. Per esempio, la debolezza dei muscoli inspiratori comporta tipicamente una progressiva compromissione della ventilazione notturna, che si manifesta inizialmente durante il sonno REM, periodo in cui il tono muscolare è fisiologicamente ridotto ed è unicamente il diaframma a farsi carico della ventilazione. Il coinvolgimento differenziale di specifici muscoli respiratori in diversi gruppi di NMD si traduce in una vasta gamma di possibili conseguenze in termini di disturbi respiratori del sonno (SDB), che sono di gran lunga più complesse rispetto ad altre malattie. La caratterizzazione degli eventi come centrali o ostruttivi può non riflettere la fisiopatologia sottostante dell'evento stesso e può portare, in particolare nei centri meno esperti in assenza di definizioni specifiche per la malattia, a trattamenti inappropriati come la CPAP.

Se a questo quadro di per sé stesso progressivo si associa un particolare interessamento diaframmatico come in alcune patologie neuromuscolari quali deficit di collagene 6 (38), selenopatie (39) ma anche distrofia muscolare di Duchenne, al tracciato poli(sonno)grafico è possibile osservare degli episodi di riduzione del flusso e della ventilazione che possono assomigliare a dei fenomeni ostruttivi ma senza collasso delle vie aeree,

denominati appunto episodi pseudo-ostruttivi o diaframmatici (40) (Figura 3). In altri casi, quantomeno inizialmente, prevale la componente di collasso delle prime vie aeree dovuto alla disfunzione dei muscoli del faringe e quindi sono riscontrabili frequenti episodi di ostruzione, che configurano però un tipo di OSAS profondamente diverso dal tipo 1. In altri casi invece prevale la componente di debolezza globale con un quadro tipico di ipoventilazione senza eventi respiratori di rilievo ma caratterizzato da un aumento della CO₂ notturna (Figura 4). Esistono tuttavia delle controversie riguardo alla definizione da utilizzare nel contesto dell'ipoventilazione per i pazienti neuromuscolari (41).

Le caratteristiche cliniche e la gravità variano notevolmente tra i diversi tipi di malattie; tuttavia, il coinvolgimento dei muscoli respiratori che porta a insufficienza respiratoria cronica rappresenta la principale causa di morbidità e mortalità in questi pazienti. Lo sviluppo dell'insufficienza respiratoria può essere insidioso e, ad oggi, non vi è consenso su quale(i) marker e soglie di funzione muscolare respiratoria compromessa possano essere premonitori di progressione della malattia. In considerazione della naturale progressione verso l'insufficienza respiratoria cronica le alterazioni precoci dei muscoli respiratori causano l'insorgenza di disturbi respiratori del sonno caratteristici di questi pazienti. Ad oggi, la PSG è suggerita solo per i pazienti sintomatici con NMD che hanno test di funzionalità polmonare (PFT) ridotti e risultati di ossimetria notturna patologici. In questo contesto, l'analisi del pattern respiratorio durante il sonno offre un'opportunità unica per rilevare segni precoci di debolezza muscolare respiratoria. Per quanto riguarda la gestione, infatti, la CPAP è generalmente inefficace e controindicata nei pazienti con

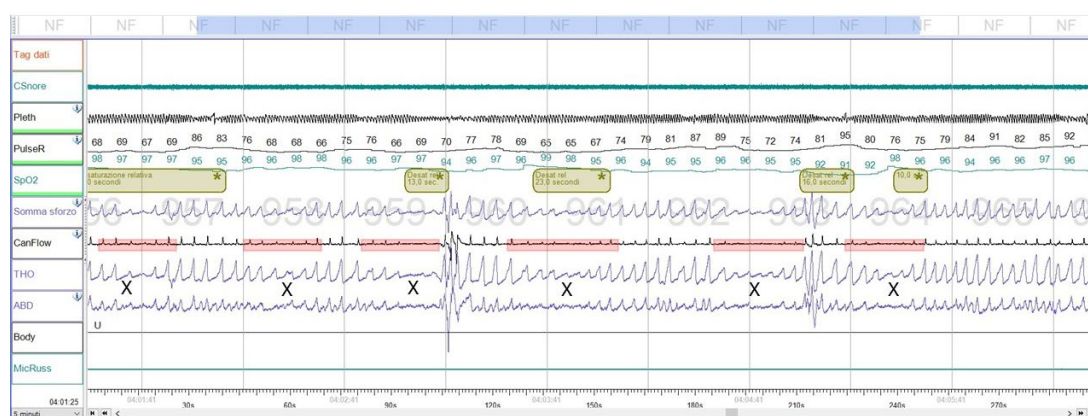


Figura 3. Poligrafia notturna di paziente neuromuscolare con tipici eventi pseudoostruttivi in paziente con distrofia di Duchenne (rettangoli rossi). Si noti la riduzione del flusso respiratorio associata a riduzione dei movimenti toraco addominali (X), l'assenza di russamento (canale Snore piatto) e la presenza di ripetuti episodi di desaturazione mai sotto il 90% ma prolungati per alcuni secondi.

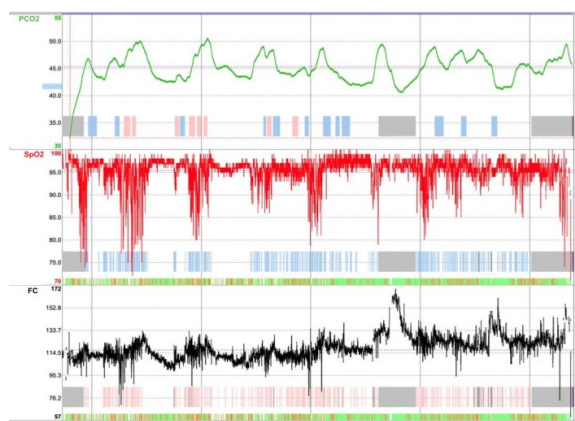


Figura 4. Capnografia transcutanea notturna con clusters di desaturazione associati ad ipercapnia.

ipoventilazione neuromuscolare, poiché non è in grado di compensare la debolezza dei muscoli respiratori né di fornire un adeguato supporto ventilatorio. In questi casi, la NIV rappresenta l'opzione terapeutica di prima scelta. Essa, infatti, permette di migliorare la debolezza dei muscoli respiratori, la ventilazione alveolare e la qualità del sonno, prevenendo la progressione dell'insufficienza respiratoria cronica (42).

CONCLUSIONI

I disturbi respiratori del sonno sono frequenti in età pediatrica e spesso caratterizzati da eventi ostruttivi dovuti a ipertrofia adenotonsillare. Esistono però nume-

rose altre condizioni genetiche o acquisite che possono comportare alterazioni della respirazione notturna con conseguenze anche severe. Il ruolo del pediatra e dello pneumologo pediatrico è cruciale nell'individuare precocemente i pazienti a rischio, indirizzandoli verso un centro in grado di garantire un'accurata diagnosi e trattamento.

CONFORMITÀ ALLE NORME ETICHE

Conflitto di interessi e finanziamenti

Gli autori dichiarano l'assenza di conflitti di interesse e confermano di non aver ricevuto alcun finanziamento o supporto economico per la realizzazione del presente lavoro.

Contributo degli autori

Tutti gli autori hanno contribuito in maniera sostanziale alla redazione, revisione critica e approvazione finale del manoscritto.

Disponibilità dei dati

Le informazioni e i dati riportati a supporto delle conclusioni sono interamente contenuti all'interno dell'articolo.

Dichiarazione di originalità e integrità scientifica

Il presente manoscritto è un lavoro originale, redatto nel rispetto dei principi di correttezza scientifica e privo di contenuti plagati.

BIBLIOGRAFIA

- Kaditis AG, Alonso Alvarez ML, Boudewyns A, Alexopoulos EI, Ersu R, Joosten K, et al. Obstructive sleep disordered breathing in 2- to 18-year-old children: diagnosis and management. *Eur Respir J.* 2016;47(1):69-94.
- Berry RB, Brooks R, Gamaldo CE, et al. AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events. Darien, IL: American Academy of Sleep Medicine; 2020.
- Brockmann PE, Urschitz MS, Schlaud M, Poets CF. Primary snoring in school children: prevalence and neurocognitive impairments. *Sleep Breath.* 2012;16(1):23-9.
- Dayyat E, Kheirandish-Gozal L, Gozal D. Childhood Obstructive Sleep Apnea: One or Two Distinct Disease Entities? *Sleep Med Clin.* 2007;2(3):433-44.
- Fitzgerald DA, MacLean J, Fauroux B. Assessment of obstructive sleep apnoea in children: What are the challenges we face? *Paediatr Respir Rev.* 2025;53:35-8.
- Marcus CL. Pathophysiology of childhood obstructive sleep apnea: current concepts. *Respir Physiol.* 2000;119(2-3):143-54.
- Bourke RS, Anderson V, Yang JS, Jackman AR, Killeddar A, Nixon GM, et al. Neurobehavioral function is impaired in children with all severities of sleep disordered breathing. *Sleep Med.* 2011;12(3):222-9.
- Piteo AM, Kennedy JD, Roberts RM, Martin AJ, Nettelbeck T, Kohler MJ, Lushington K. Snoring and cognitive development in infancy. *Sleep Med.* 2011;12(10):981-7.
- Chervin RD, Archbold KH, Dillon JE, Panahi P, Pituch KJ, Dahl RE, et al. Inattention, hyperactivity, and symptoms of sleep-disordered breathing. *Pediatrics.* 2002;109(3):449-56.
- Chervin RD, Dillon JE, Bassetti C, Ganoczy DA, Pituch KJ. Symptoms of sleep disorders, inattention, and hyperactivity in children. *Sleep.* 1997;20(12):1185-92.
- Nieminen P, Löppönen T, Tolonen U, Lanning P, Knip M, Löppönen H. Growth and biochemical markers of growth in children with snoring and obstructive sleep apnea. *Pediatrics.* 2002;109(4):e55.
- de la Eva RC, Baur LA, Donaghue KC, Waters KA. Metabolic correlates with obstructive sleep apnea in obese subjects. *J Pediatr.* 2002;140(6):654-9.

13. Chuang HH, Hsu JF, Wang CY, Chuang LP, Chen MC, Chen NH, Huang YS, Li HY, Lee LA. Hypertension in Children with Obstructive Sleep Apnea Syndrome-Age, Weight Status, and Disease Severity. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(18):9602.
14. Borrelli M, Corcione A, Cimbalo C, Annunziata A, Basilicata S, Fiorentino G, Santamaria F. Diagnosis of Paediatric Obstructive Sleep-Disordered Breathing beyond Polysomnography. *Children (Basel)*. 2023;10(8):1331.
15. Gudnadottir G, Hafsten L, Redfors S, Ellegård E, Hellgren J. Respiratory polygraphy in children with sleep-disordered breathing. *J Sleep Res*. 2019;28(6):e12856.
16. Chiner E, Cánovas C, Molina V, Sancho-Chust JN, Vañes S, Pastor E, et al. Home Respiratory Polygraphy is Useful in the Diagnosis of Childhood Obstructive Sleep Apnea Syndrome. *J Clin Med*. 2020;9(7):2067.
17. Nixon GM, Kermack AS, Davis GM, Manoukian JJ, Brown KA, Brouillette RT. Planning adenotonsillectomy in children with obstructive sleep apnea: the role of overnight oximetry. *Pediatrics*. 2004;113(1 Pt 1):e19-25.
18. Cassibba J, Aubertin G, Martinot JB, Le Dong N, Hullo E, Beydon N, et al. Analysis of mandibular jaw movements to assess ventilatory support management of children with obstructive sleep apnea syndrome treated with positive airway pressure therapies. *Pediatr Pulmonol*. 2024 Jul;59(7):1905-11.
19. Amaddeo A, Sabil A, Arroyo JO, De Sanctis L, Griffon L, Bafet G, et al. Tracheal sounds for the scoring of sleep respiratory events in children. *J Clin Sleep Med*. 2020;16(3):361-9.
20. Chervin RD, Hedger K, Dillon JE, Pituch KJ. Pediatric sleep questionnaire (PSQ): validity and reliability of scales for sleep-disordered breathing, snoring, sleepiness, and behavioral problems. *Sleep Med*. 2000;1(1):21-32.
21. Xiao Z, Li X, Zhou L, Long X, Tian L, Li W. Drug-Induced Sleep Endoscopy and Its Recent Clinical Applications in Combination with Other Procedures in Children: A Narrative Review. *Nat Sci Sleep*. 2025;17:1067-1077.
22. Marcus CL, Moore RH, Rosen CL, Giordani B, Garetz SL, Taylor HG, et al. Childhood Adenotonsillectomy Trial (CHAT). A randomized trial of adenotonsillectomy for childhood sleep apnea. *N Engl J Med*. 2013;368(25):2366-76.
23. Tan HL, Alonso Alvarez ML, Tsaousoglou M, Weber S, Kaditis AG. When and why to treat the child who snores? *Pediatr Pulmonol*. 2017;52(3):399-412.
24. Tsikopoulos A, Tsikopoulos K, Dilmeris F, Anastasiadou S, Garefis K, Fountarlis A, et al. Adenotonsillectomy Versus Watchful Waiting for Children with Obstructive Sleep Apnea Syndrome: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg*. 2024;76(5):4910-22.
25. Fehm J, Nerfeldt P, Browaldh N, Friberg D. Effectiveness of Adenotonsillectomy vs Watchful Waiting in Young Children With Mild to Moderate Obstructive Sleep Apnea: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 2020;146(7):647-54.
26. Gozal D, Tan HL, Kheirandish-Gozal L. Treatment of Obstructive Sleep Apnea in Children: Handling the Unknown with Precision. *J Clin Med*. 2020;9(3):888.
27. Chadha NK, Zhang L, Mendoza-Sassi RA, César JA. Using nasal steroids to treat nasal obstruction caused by adenoid hypertrophy: does it work? *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2009;140(2):139-47.
28. Tapia IE, Shults J, Cielo CM, Kelly AB, Elden LM, Spergel JM, et al. A Trial of Intranasal Corticosteroids to Treat Childhood OSA Syndrome. *Chest*. 2022;162(4):899-919.
29. Chidambaram AG, Cielo CM, Chervoneva I, Spergel JM, Tapia IE. Nasal biomarker inflammatory profile in response to intranasal corticosteroids in pediatric obstructive sleep apnea syndrome. *J Clin Sleep Med*. 2025;21(6):1033-40.
30. Liming BJ, Ryan M, Mack D, Ahmad I, Camacho M. Montelukast and Nasal Corticosteroids to Treat Pediatric Obstructive Sleep Apnea: A Systematic Review and Meta-analysis. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2019;160(4):594-602.
31. Zaffanello M, Pietrobelli A, Nosetti L, Antoniazzi F, Frassoldati R, Piacentini G. Intranasal Corticosteroids and Oral Montelukast for Paediatric Obstructive Sleep Apnoea: A Systematic Review. *Pharmaceutics*. 2025; 17(5):588.
32. Ishman SL, Maturo S, Schwartz S, et al. Expert Consensus Statement: Management of Pediatric Persistent Obstructive Sleep Apnea After Adenotonsillectomy. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2023;168(2):115-30.
33. Tommesani C, Khirani S, Amaddeo A, Massenavette B, Bierme P, Taytard J, et al. Long term noninvasive respiratory support in children with OSA-I and OSA-II: Data of a nation-wide study. *Sleep Med*. 2025;126:67-72.
34. Ersu R, Chen ML, Ehsan Z, Ishman SL, Redline S, Narang I. Persistent obstructive sleep apnoea in children: treatment options and management considerations. *Lancet Respir Med*. 2023;11(3):283-96.
35. Felix O, Amaddeo A, Olmo Arroyo J, Zerach M, Puget S, Cormier-Daire V, et al. Central sleep apnea in children: experience at a single center. *Sleep Med*. 2016;25:24-8.
36. Randerath W, Baillieux S, Tamisier R. Central sleep apnoea: not just one phenotype. *Eur Respir Rev*. 2024;33:230141.
37. Ghirardo S, Amaddeo A, Griffon L, Khirani S, Fauroux B. Central apnea and periodic breathing in children with underlying conditions. *J Sleep Res*. 2021 Dec;30(6):e13388.
38. Quijano-Roy S, Khirani S, Colella M, Ramirez A, Aloui S, Wehbi S, et al. Diaphragmatic dysfunction in Collagen VI myopathies. *Neuromuscul Disord*. 2014;24(2):125-33.
39. Caggiano S, Khirani S, Dabaj I, Cavassa E, Amaddeo A, Arroyo JO, et al. Diaphragmatic dysfunction in SEPN1-related myopathy. *Neuromuscul Disord*. 2017;27(8):747-55.
40. Trucco F, Davies M, Zambon AA, Ridout D, Abel F, Muntoni F. Definition of diaphragmatic sleep disordered breathing and clinical meaning in Duchenne muscular dystrophy. *Thorax*. 2024;79(7):652-61.
41. Amaddeo A, Fauroux B. Oxygen and carbon dioxide monitoring during sleep. *Paediatr Respir Rev*. 2016;20:42-44.
42. Fauroux B, Khirani S, Griffon L, Teng T, Lanzeray A, Amaddeo A. Non-invasive Ventilation in Children With Neuro-muscular Disease. *Front Pediatr*. 2020;8:482.

Dialogo tra la volpe (pediatria di libera scelta) e il riccio (pneumologo)

Asma in età pediatrica e sport: indicazioni essenziali nella pratica clinica

Asthma in children and sports: essential guidelines for clinical practice

Valentina **Tranchino**¹, Angela **Klain**², Paolo **Rosso**³, Michele **Ghezzi**^{4,*}, Giuseppe **Marchese**⁵

* CORRISPONDENZA:

michele.ghezzi@asst-fbf-sacco.it

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7434-9112>

1. È sicuro raccomandare attività fisica ai bambini con asma controllata?

Sì, è sicuro raccomandare l'attività fisica ai bambini con asma ben controllata. Exercise-Induced Asthma (EIA) e Exercise-Induced Bronchoconstriction (EIB) sono due termini che descrivono una condizione respiratoria che si verifica quando le vie aeree si restringono in risposta all'esercizio fisico. L'EIA è un termine che descrive una condizione in cui l'esercizio fisico scatena sintomi di asma, come respiro corto, tosse e respiro sibilante ed è spesso associata ad altre condizioni allergiche, come la rinite allergica o l'eczema. L'EIB è un termine che descrive la costrizione delle vie aeree che si verifica in risposta all'esercizio fisico, indipendentemente dalla presenza di asma e può verificarsi in persone con o senza asma e può essere causata da diversi fattori, come la perdita di calore e di umidità dalle vie aeree durante l'attività sportiva. L'esercizio fisico regolare non solo è ben tollerato, ma comporta benefici clinicamente rilevanti. Studi controllati dimostrano che programmi strutturati di attività aerobica o nuoto, svolti per almeno 8 settimane, possono migliorare la funzionalità polmonare (con incrementi medi del 2-3% di FEV₁ e FVC), aumentare la capacità aerobica e migliorare la qualità della vita. Inoltre, l'esercizio è associato a una riduzione dell'infiammazione bronchiale e dell'iperreattività indotta dallo sforzo. L'attività fisica dovrebbe essere quindi considerata parte integrante del trattamento dell'asma in età pediatrica, a condizione che il controllo farmacologico sia adeguato e che vi sia una valutazione specialistica preventiva per individuare eventuali fattori di rischio individuali.

- Zhou L, Xu H. Feasibility of exercise therapy for children with asthma: a meta-analysis. *Front Cell Dev Biol.* 2023;11:1192929. doi: 10.3389/fcell.2023.1192929.
- Zhu Q, Zhu J, Wang X, Xu Q. A Meta Analysis of Physical Exercise on Improving Lung Function and Quality of Life Among Asthma Patients. *J Asthma Allergy.* 2022;15:939-955. doi: 10.2147/JAA.S369811.

2. Quali sport sono più tollerati nei bambini asmatici?

Le evidenze scientifiche indicano che gli sport a carattere intermittente, come nuoto, calcio e pallavolo, sono generalmente meglio tollerati dai bambini con asma. In

DOI

10.63304/PneumolPediatr.2025.19

¹ UOC di Pediatria Ospedaliera ad indirizzo Pneumo-Allergologico, AOU Policlinico di Bari, Ospedale Pediatrico Giovanni XXIII, Bari, Italia

² Dipartimento della donna, del bambino e di chirurgia generale e specialistica, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, Napoli, Italia

³ Pediatra di Libera Scelta, ASL TO4 Chivasso, Torino, Italia

⁴ Ospedale dei Bambini Buzzi, Milano, Italia

⁵ Pediatra di Famiglia, ASST della Val Camonica, Italia

PAROLE CHIAVE

Asma; età scolare; sport; piano di azione individuale; test da sforzo.

KEY WORDS

Asthma; school age; sports; individual action plan; exercise stress test.

particolare, il nuoto praticato in ambienti caldo-umidi si associa a un miglioramento della funzione respiratoria (FEV_1 , FVC), a una minore incidenza di asma da sforzo e a un alto profilo di sicurezza. Nonostante il potenziale effetto irritativo del cloro, i benefici complessivi del nuoto risultano superiori ai rischi. Anche attività più intense e continuative (es. corsa prolungata, ciclismo) possono essere praticate in sicurezza, purché l'asma sia ben controllato e venga adottata una profilassi farmacologica pre-esercizio (es. β_2 -agonisti a breve durata d'azione), se necessario.

- Ramachandran HJ, Jiang Y, Shan CH, Tam WWS, Wang W. A systematic review and meta-analysis on the effectiveness of swimming on lung function and asthma control in children with asthma. *Int J Nurs Stud.* 2021;120:103953. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2021.103953.

3. Qual è il ruolo della terapia inalatoria nella prevenzione dei sintomi di asma da sforzo?

La terapia inalatoria svolge un ruolo cruciale nella prevenzione e nel controllo dei sintomi da esercizio nei bambini asmatici. In particolare, i β_2 -agonisti a breve durata d'azione (SABA), come il salbutamolo, somministrati 15-30 minuti prima dell'attività fisica, rappresentano il trattamento di prima scelta per la prevenzione dell'asma esercizio indotto (EIB – exercise-induced bronchoconstriction). L'effetto broncodilatatore dura circa 2-4 ore, e risulta essere efficace nel ridurre la broncocostrizione e nel migliorare la tolleranza allo sforzo.

Tuttavia, nei bambini affetti da asma persistente, l'utilizzo del solo SABA "al bisogno" è sconsigliato come unico trattamento, poiché può mascherare uno stato infiammatorio di base ed un'asma non ben controllata. È pertanto raccomandato utilizzare una terapia di fondo con corticosteroidi inalatori (ICS), associata o meno a un β_2 -agonista a lunga durata d'azione (LABA), in base al livello di gravità e al controllo dei sintomi. Nei casi refrattari, può essere utile l'aggiunta di antileucotrieni (es. montelukast), che hanno dimostrato efficacia nella prevenzione della broncocostrizione indotta da esercizio, anche se con risposta interindividuale variabile. Tra gli approcci comportamentali, il riscaldamento prima dell'esercizio fisico, la respirazione attraverso il naso o la mascherina chirurgica e l'evitare ambienti inquinati sono tutte strategie raccomandate per ridurre il rischio di EIB.

L'aderenza alla terapia di fondo, la tecnica inalatoria corretta e l'educazione terapeutica sono elementi chiave per la corretta gestione del bambino asmatico nelle sue attività quotidiane.

- Global Initiative for Asthma (GINA). Global Strategy for Asthma Management and Prevention [Internet]. 2024 [citato 31 lug 2025]. Disponibile da: <https://ginasthma.org>.
- Grandinetti R, Mussi N, Rossi A, Zambelli G, Masetti M, Giudice A, Pet al. Exercise-Induced Bronchoconstriction in Children: State of the Art from Diagnosis to Treatment. *J Clin Med.* 2024;13(15):4558. doi: 10.3390/jcm13154558.

4. È utile un test da sforzo nella diagnosi o nella gestione dell'asma indotta da esercizio?

Il test da sforzo è uno strumento diagnostico fondamentale per la conferma dell'asma indotta da esercizio fisico (EIB), soprattutto nei casi in cui la storia clinica sia suggestiva ma non conclusiva. Questo test valuta la funzione respiratoria prima e dopo l'attività fisica, generalmente tramite spirometria, con misurazioni ripetute del FEV_1 a intervalli regolari (es. 1, 5, 10, 15, 30 minuti dopo lo sforzo).

Una riduzione del $FEV_1 \geq 10\%$ rispetto al basale è considerata diagnostica di broncocostrizione indotta da esercizio. Il test può essere condotto su tapis roulant o cicloergometro, con carico standardizzato e monitoraggio ambientale (temperatura, umidità) per migliorare la sensibilità diagnostica. In alternativa, in centri specializzati si possono utilizzare test indiretti equivalenti, come il test da iperventilazione eufisica volontaria (EVH).

Il test da sforzo è anche utile per monitorare la risposta alla terapia inalatoria di fondo, valutare l'idoneità allo sport competitivo, differenziare EIB da altre condizioni, come disfunzione delle corde vocali o decondizionamento. Nel contesto pediatrico, è importante che il test sia condotto in ambiente protetto e da personale esperto, per garantire sicurezza e accuratezza.

- Beydon N. Pulmonary function testing in children. *Eur Respir Rev.* 2019;28(151):180099.
- Fainardi V, Grandinetti R, Mussi N, Rossi A, Masetti M, Giudice A, et al. Exercise-induced bronchoconstriction in children: Delphi study and consensus document about definition and epidemiology, diagnostic work-up, treatment, and follow-up. *Respir Res.* 2024;25(1):445. doi: 10.1186/s12931-024-03078-5.

5. Qual è il messaggio da trasmettere ai genitori e agli insegnanti di educazione fisica?

L'asma, se ben controllata, non rappresenta una controindicazione all'attività fisica; al contrario, lo sport dovrebbe essere incoraggiato come parte integrante del benessere fisico e psicologico del bambino. L'attività fisica regolare contribuisce al miglioramento della capacità cardiorespiratoria, riduce l'infiammazione siste-

mica e può persino migliorare il controllo dell'asma nel lungo termine.

I genitori devono essere adeguatamente informati sul piano di gestione personalizzato dell'asma, che include l'uso corretto della terapia di mantenimento, le misure preventive pre-esercizio e il riconoscimento precoce dei sintomi. È altrettanto importante coinvolgere gli insegnanti di educazione fisica e il personale scolastico, fornendo indicazioni chiare sull'eventuale necessità di assunzione del broncodilatatore prima dell'attività e sulla gestione di episodi acuti.

Uno strumento utile è il "piano di azione individuale" (Asthma Action Plan), da condividere con scuola e fami-

glia, che definisce le terapie da assumere abitualmente, i sintomi di peggioramento, il piano di azione in caso di crisi, quando rivolgersi al medico o al pronto soccorso. In definitiva, l'obiettivo è superare lo stigma e le restrizioni eccessive, ancora troppo comuni, restituendo ai bambini asmatici il diritto di giocare, correre e partecipare pienamente alla vita sportiva, al pari dei coetanei.

- Caruana M, Bonnici West LM, Cordina M. School practices in supporting children with asthma in Malta. *J Asthma*. 2022;59(9):1742-1749. doi: 10.1080/02770903.2021.1964523.
- Global Initiative for Asthma (GINA). Global Strategy for Asthma Management and Prevention [Internet]. 2024 [citato il 31 luglio 2025]. Disponibile da: <https://ginasthma.org>.

