



Pneumologia Pediatria

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

101/2026

La diagnostica per immagini in pneumologia pediatrica: appropriatezza, innovazione e confronto multidisciplinare a venticinque anni dalla fondazione della Rivista	1
La diagnostica radiologica si evolve nel tempo: due generazioni a confronto	3
La tomografia computerizzata del torace in età pediatrica: evoluzione, indicazioni e radioprotezione negli ultimi 25 anni	5
Stato dell'arte della risonanza magnetica polmonare nel follow-up delle patologie polmonari croniche pediatriche	11
Radiografia del torace ed ecografia polmonare nella pratica clinica pediatrica	18
Bronchiolite obliterante post-infettiva: sfide diagnostiche e ruolo della valutazione longitudinale	24
Percorsi diagnostici utili in pneumologia pediatrica	31

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

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 Media S.r.l.
Viale Forlanini, 21
20134 Milano - 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 2026 SIMRI
Pubblicato da Edra Media S.r.l.

EDITORIALE

La diagnostica per immagini in pneumologia pediatrica: appropriatezza, innovazione e confronto multidisciplinare a venticinque anni dalla fondazione della Rivista

Imaging in pediatric pulmonology: appropriateness, innovation, and multidisciplinary collaboration on the 25th anniversary of the Journal

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

* CORRISPONDENZA:

elisabetta.bignamini@gmail.com

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

Era il 2001 quando il professor Attilio Boner, allora Presidente della SIMRI, apriva il primo numero di *Pneumologia Pediatrica* con la sua "Lettera del Presidente" dal titolo *Costruire insieme*. Il Professore definiva la nostra Rivista «un risultato importante per una Società come la nostra, che da tempo ha scelto di occuparsi dell'aggiornamento dei Soci» (1), tracciando con chiarezza la direzione del progetto scientifico e culturale.

A quella visione faceva eco l'editoriale del primo Direttore della Rivista, il prof. Angelo Barbato, intitolato *Nuovi impulsi alla comunicazione scientifica* nel quale delineava l'obiettivo di "pubblicare articoli di aggiornamento sulle nuove possibilità diagnostiche e terapeutiche nel campo della pneumologia ed allergologia pediatrica e in altri campi della pediatria, come l'epidemiologia, l'infettivologia e la pediatria d'urgenza per gli aspetti relativi alle malattie dell'apparato respiratorio" (1). Da allora sono passati 25 anni, durante i quali i comitati editoriali che si sono avvicendati hanno saputo interpretare, ciascuno con sensibilità e caratteristiche proprie, lo spirito dei Fondatori, portando avanti una Rivista che non ha mai smesso di porsi un obiettivo preciso: aggiornare e al tempo stesso stimolare la riflessione sui grandi e sui piccoli temi della Pneumologia Pediatrica.

Con i volumi del 2026 rinnoviamo il nostro impegno con uno sguardo particolare, legato alla ricorrenza: i numeri che verranno pubblicati nel corso dell'anno avranno l'obiettivo di confrontare ciò che è stato, nel campo assistenziale, della ricerca, della comunicazione scientifica con quello che è oggi e con le prospettive che si delineano per il futuro nell'ambito della pneumologia pediatrica.

Il Comitato Editoriale ha deciso di dedicare il primo fascicolo all'*imaging*. L'idea di poter guardare dentro l'organismo umano, per giungere ad una diagnosi, ha sempre entusiasmato e motivato generazioni di ricercatori. Lo studio dell'anatomia e, soprattutto, la dissezione di cadaveri, rappresenta il primo tentativo fundamenta-

DOI

10.63304/PneumolPediater.2026.01

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

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

Evoluzione tecnologica; Tomografia computerizzata (TC) Polmonare; ecografia polmonare; raggi X Risonanza Magnetica; radioprotezione.

KEY WORDS

Technological evolution; Chest Computerized Tomography (CT); Lung Ultrasound; X Rays Magnetic resonance imaging; Radiological protection.

le, anche se a lungo ostacolato, per motivi prevalentemente religiosi, di vedere dentro ad un corpo umano. Ma la possibilità di vedere dentro un corpo vivente racchiudeva in sé una forza rivoluzionaria, un potere conoscitivo capace di cambiare per sempre lo sguardo sulla malattia e sulla diagnosi.

Quando Wilhelm Conrad Röntgen, futuro premio Nobel nel 1901, scoprì i raggi X e il 22 dicembre 1895 fissò su una lastra l'immagine della mano della moglie Bertha, rendendone visibile lo scheletro, si aprì una strada nuova.

È da questo crocevia di storia, da questa eredità scientifica e da questo progresso culturale, che prende il via questo fascicolo di Pneumologia Pediatrica.

Nel corso del tempo, l'applicazione della diagnostica per immagini, inizialmente delimitata alla "radiografia", diventò imprescindibile in tante situazioni cliniche, non senza abusi, tanto che, oltre all'avvio di protocolli precisi in circostanze particolari (come esempio si può citare Kneyber MC, Moons KG, de Groot R, Moll HA. Predictors of a normal chest x-ray in respiratory syncytial virus infection. *Pediatr Pulmonol.* 2001 Apr;31(4):277-83. doi: 10.1002/ppul.1039. PMID: 11288209), è maturata una crescente consapevolezza dell'impossibilità e della non eticità nel ricorrere in modo indiscriminato a strumenti diagnostici gravati da potenziali effetti negativi sulla salute del bambino, in particolare per l'esposizione alle radiazioni ionizzanti.

Quindi, parallelamente al rilievo dato nel panorama nazionale ed internazionale alla documentazione iconografica delle patologie respiratorie dell'infanzia, sono stati avviati studi orientati, da un lato, alla ricerca della somministrazione della minima dose radiante negli esami imprescindibili e, dall'altro, all'integrazione nella pratica clinica di metodiche già note, come l'ecografia polmonare, progressivamente entrata nella routine pediatrica e non solo più competenza attribuita allo specialista radiologo. Inoltre, lo sviluppo tecnologico ha reso possibile, in tempi più recenti, l'impiego della risonanza magnetica nella diagnostica delle patologie più complesse, configurandola come valida alternativa all'esame TC sia per la valutazione morfologica sia per quella funzionale. Di tutto questo abbiamo parlato con il professor Filippo Bernardi, che ha fatto da ponte tra passato, presente e futuro (2) ed abbiamo raccolto contributi sulla risonanza magnetica (3), sulla tomografia computerizzata (4), sull'ecografia e sulla radiologia del torace (5), accanto a quesiti pratici emersi dai Pediatri di Famiglia nel confronto con gli specialisti (6) e alla presentazione di un caso clinico particolarmente significativo in questa prospettiva (7).

Tutto questo per continuare e rinnovare, in ogni fascicolo, quello spirito di aggiornamento e confronto, auspicato da chi questa Rivista l'ha profondamente voluta e sostenuta negli anni.

Buona lettura.

BIBLIOGRAFIA

1. Pneumologia Pediatrica, Vol. 1, n. 1, 2001.
2. Bernardi F, Onofri A, De Pieri C. La diagnostica radiologica si evolve nel tempo: due generazioni a confronto. *Pneumol Pediatr.* 2026;26(101):3-4. doi: 10.63304/PneumolPediatr.2026.02.
3. Santangelo TP, Curione D, Majo F, Porcaro F, Cutrera R, Secinaro A. Stato dell'arte della risonanza magnetica polmonare nel follow-up delle patologie polmonari croniche pediatriche. *Pneumol Pediatr.* 2026;26(101):11-17. doi: 10.63304/PneumolPediatr.2026.04.
4. Ciccarone DA, Gaeta A, Ciccarone GP. La tomografia computerizzata del torace in età pediatrica: evoluzione, indicazioni e radioprotezione negli ultimi 25 anni. *Pneumol Pediatr.* 2026;26(101):5-10. doi: 10.63304/PneumolPediatr.2026.03.
5. Rodofile F, Del Greco P, Romagnoli V, Volpini A. Radiografia del torace ed ecografia polmonare nella pratica clinica pediatrica. *Pneumol Pediatr.* 2026;26(101):18-23. doi: 10.63304/PneumolPediatr.2026.05.
6. Klain A, Rosso P, Marchese G, Ghezzi M, Tranchino V. Percorsi diagnostici utili in pneumologia pediatrica. *Pneumol Pediatr.* 2026;26(101):31-33. doi: 10.63304/PneumolPediatr.2026.07.
7. Dorato A, Parisi GP, Estori P, Di Jorgi M, Tosto M, Florio A, et al. Bronchiolite obliterante post-infettiva: sfide diagnostiche e ruolo della valutazione longitudinale. *Pneumol Pediatr.* 2026;26(101):24-30. doi: 10.63304/PneumolPediatr.2026.06.

INTERVISTA

La diagnostica radiologica si evolve nel tempo: due generazioni a confronto

Radiological diagnostics evolves over time: two generations compared

Filippo Bernardi¹, Alessandro Onofri², Carlo De Pieri³

Carlo De Pieri (pediatra di libera scelta) e Alessandro Onofri (pediatra pneumologo ospedaliero) dialogano con Filippo Bernardi socio fondatore e onorario SIMRI

Agli albori della SIMRI, circa trent'anni fa, l'*imaging* in pediatria respiratoria si basava su poche tecniche, utilizzate con cautela e sempre integrate all'osservazione clinica. La radiografia del torace rappresentava lo strumento principale e l'interpretazione delle immagini non era mai un atto isolato, ma nasceva dal confronto diretto e continuo tra pediatra e radiologo, in un dialogo finalizzato a comprendere il quadro clinico nel suo insieme.

Nel corso dei decenni, la radiodiagnostica pediatrica ha subito una trasformazione profonda. Non sono cambiate solo le metodiche – dalla radiografia alla TC, fino alla progressiva affermazione dell'ecografia toracica – ma anche le tecnologie che le supportano. La digitalizzazione ha rivoluzionato i processi diagnostici, rendendo le immagini immediatamente disponibili, confrontabili nel tempo e rielaborabili, spesso anticipando l'accesso ai dati strumentali rispetto alla valutazione clinica diretta. Alcune tecniche un tempo centrali hanno progressivamente perso importanza, mentre altre, inizialmente considerate marginali, sono diventate strumenti fondamentali nella pratica quotidiana. La crescente disponibilità di esami di *imaging* ha inoltre riaperto l'attenzione sul tema dell'esposizione radiologica in età pediatrica e sul rischio di una iper-diagnostica, richiamando il pediatra a una responsabilità sempre maggiore nella scelta degli esami e nella loro interpretazione critica.

Anche il rapporto tra pediatri e radiologi è cambiato: se in passato il confronto diretto era parte integrante del percorso diagnostico, oggi la digitalizzazione rischia di ridurlo, nonostante l'esperienza dimostri quanto il dialogo interdisciplinare resti essenziale nei casi complessi.

In un'epoca in cui l'accesso immediato alle immagini, la tecnologia digitale e l'intelligenza artificiale sembrano promettere risposte sempre più rapide, talvolta accompagnate dal timore di una perdita di centralità del medico, diventa fondamentale interrogarsi su come mantenere saldo il ruolo del ragionamento clinico e del giudizio professionale.

Prof. Bernardi, alla luce di questo percorso e della sua enorme esperienza, vorremmo sapere da Lei quale equilibrio ritiene oggi indispensabile tra clinica, imaging e nuove tecnologie per preservare il valore del pediatra e del radiologo nella cura del bambino?

Farei innanzitutto due considerazioni: 1) la digitalizzazione ci ha cambiato la vita in tutti gli ambiti della nostra professione. Avere a disposizione storia ed iconogra-

DOI

10.63304/PneumolPediatri.2026.02

¹ Prof. Associato di Pediatria e già Direttore della Pediatria d'Urgenza dell'Università degli Studi di Bologna, Bologna, Italia

² Unità Operativa Complessa di Pneumologia e Fibrosi Cistica, Area Universitaria Ospedaliera Pediatrica Bambino Gesù – IRCCS, Roma, Italia

³ Pediatra di Libera Scelta, Azienda Sanitaria Universitaria Friuli Centrale, Udine, Italia

PAROLE CHIAVE

Radiologia; tomografia computerizzata; ecografia; digitalizzazione; risonanza magnetica.

KEY WORDS

Radiology; computed tomography; ultrasound; digital imaging; magnetic resonance imaging.

fia del paziente in tempo reale è diventato un aiuto importantissimo che ha, in parte, anche modificato il primo approccio con il bambino ammalato e la sua famiglia.

2) Quando ero giovane i miei Maestri mi dicevano: “ricordati che quando la diagnosi clinica non coincide con quella strumentale (allora era la radiografia) è la clinica che ci deve guidare”. Oggi ritengo che non sia più possibile fare questa affermazione. Infatti le tecniche strumentali che abbiamo a disposizione hanno raggiunto un tale livello di attendibilità che il confronto si sta progressivamente spostando su un piano di parità. Certamente avere a disposizione storia e immagini in diretta permette di farsi un’idea del problema prima dell’approccio clinico, ma se questo sia un bene o un male non saprei dirlo, anche se ritengo che a far pendere il piatto della bilancia in un senso o nell’altro sarà la variabile più importante: il singolo Pediatra.

Ne deriva che il timone dovrà essere ben saldo nelle sue mani, ma dovrà utilizzare al meglio quanto gli sarà offerto dalle nuove e vecchie tecnologie, con una particolare attenzione ad un concorrente sempre più invadente: l’Intelligenza Artificiale. È e sarà quindi indispensabile conoscere a pieno le varie tecniche a disposizione per una corretta e utile interpretazione di quanto ci potranno fornire. Non accettare passivamente ciò che non conosciamo direttamente ma farne un attento uso critico. In passato c’era il confronto con il Radiologo che voleva dire fare una sintesi delle conoscenze dell’uno e dell’altro per arrivare ad una diagnosi la più precisa possibile. Ricordo che nella Clinica Pediatrica di Bologna in cui ho avuto la fortuna di lavorare era normale trovarsi gomito a gomito a discutere con i radiologi su casi più o meno complessi. Questo mi ha portato ad imparare tanto da loro e più modestamente ad insegnare loro qualcosa io. Ricordo un bambino di meno di due anni con una dispnea acuta ma con un reperto ascoltorio negativo per patologia respiratoria. Mi trovo a discutere con il Radiologo su una immagine radiologica senza particolare significato. Mi dice proviamo a fare un’eco (eravamo agli albori del suo utilizzo sul polmone), era una pericardite in fase iniziale. Tutto questo è destina-

to a scomparire o ci salverà ancora una volta Internet? Allora tornerei all’ecografia che oggi possiamo gestire in prima persona e che potrebbe di conseguenza portare ad eliminare il contraddittorio. Il suo utilizzo è prepotentemente esploso in questi ultimi anni da un lato per evitare i danni da esposizione ai raggi X, dall’altro per la semplicità di utilizzo e la qualità delle immagini, sempre più alla portata di ogni pediatra, tanto da diventare un secondo fonendoscopio. Non so se in futuro l’ecografia arriverà a sostituire totalmente il fonendoscopio, ma so che questa strada andrà percorsa, soprattutto dai più giovani, aiutati dalle indispensabili conoscenze su questa tecnica per poterne distinguere vantaggi e limiti. Mi sembra di poter prevedere che lì sia il futuro dell’*imaging* nelle malattie respiratorie infantili, inizialmente forse più in fase acuta, ma con grande margine di miglioramento nella gestione anche delle forme croniche più complesse.

Due parole sulle altre tecniche più utilizzate: la T.C. che, pur occupando uno spazio sempre più importante, in particolare per l’alta definizione delle immagini, viene sempre più riservata alle patologie complesse e alle interstiziopatie. Errori diagnostici importanti legati alla TC non ne vedo, forse si può essere portati a sopravvalutare le immagini, ma il vero errore da evitare è di utilizzarla nelle forme acute come vedo sempre più fare nell’adulto. Resta e deve restare un esame di secondo livello. Il confronto con il Radiologo resta indispensabile. Infine la RMN che, a mio avviso, ha un po’ tradito le aspettative molto legate all’assenza di radiazioni, che resta molto importante nelle patologie tumorali e nelle malformazioni congenite, ma che è stata in buona parte soppiantata dall’ecografia che grazie alla sua maneggevolezza e al miglioramento della definizione delle immagini è certamente di uso più immediato e direttamente nelle mani del Pediatra. Pensiamo al PS. Studio e conoscenza sono e resteranno il bagaglio fondamentale per affrontare le tecniche che ci riserverà il futuro e saperle padroneggiare è il presupposto indispensabile per poterne ottenere tutti i vantaggi per il nostro lavoro e per la salute dei piccoli pazienti.

REVISIONE

La tomografia computerizzata del torace in età pediatrica: evoluzione, indicazioni e radioprotezione negli ultimi 25 anni

Computed tomography of the chest in children: developments, indications and radiation protection over the last 25 years

Dora Alba **Ciccarone**^{1,2}, Alberto **Gaeta**³, Giovanni Pompeo **Ciccarone**^{4,*}

* CORRISPONDENZA

giovannipompeo.ciccarone@asl.bari.it

RIASSUNTO

Negli ultimi 25 anni la tomografia computerizzata del torace (tTC) ha assunto un ruolo centrale nella pneumologia pediatrica, affiancando e in parte superando i tradizionali test di funzionalità respiratoria nella diagnosi e nel monitoraggio di numerose patologie polmonari. L'evoluzione tecnologica degli scanner, con una progressiva riduzione della dose di radiazioni e un miglioramento della qualità delle immagini, ha consentito un utilizzo più mirato e consapevole di questa metodica anche in età pediatrica. La tTC rappresenta oggi il gold standard per la valutazione delle malattie polmonari interstiziali, delle bronchiectasie, delle malformazioni toraciche congenite e di numerose condizioni acute e croniche. Tuttavia, l'elevata sensibilità diagnostica deve sempre essere bilanciata con il rischio legato all'esposizione alle radiazioni ionizzanti, particolarmente rilevante nei bambini. Questa review analizza l'evoluzione delle indicazioni cliniche, delle tecniche di acquisizione, delle strategie di radioprotezione e della periodicità di ripetizione della tTC pediatrica.

SUMMARY

Over the last 25 years, computed tomography scans (CT) of the chest have taken on a central role in paediatric pulmonology, complementing and in some cases surpassing traditional respiratory function tests in the diagnosis and monitoring of numerous lung diseases. Technological advances in scanners, with a progressive reduction in radiation doses and improved image quality, have enabled more targeted and informed use of this method, even in paediatric patients. Chest CT is now the gold standard for the evaluation of interstitial lung diseases, bronchiectasis, congenital chest malformations and numerous acute and chronic conditions. However, high diagnostic sensitivity must always be balanced against the risk associated with exposure to ionising radiation, which is particularly relevant in children. This review analyses the evolution of clinical indications, acquisition techniques, radiation protection strategies and the frequency of repeat paediatric chest CT scans.

DOI

10.63304/PneumolPediatri.2026.03

¹ Scuola di specializzazione in Pediatria – Università “Aldo Moro” di Bari, Bari, Italia

² Dipartimento di medicina dell'età evolutiva – U.O.C. Pediatria PO

“San Paolo” di Bari, Bari, Italia

³ U.O.S.D. Radiodiagnostica-Ospedale Pediatrico Giovanni XXIII di Bari, Bari, Italia

⁴ Dipartimento di medicina dell'età evolutiva – U.O.S.D. Pediatria Ospedale “Umberto I” di Corato, Corato, Italia

PAROLE CHIAVE

Tomografia computerizzata; TC del torace/ TC polmonare; imaging del torace; imaging polmonare; pediatrico.

KEY WORDS

Computed tomography; chest CT/thoracic CT; chest imaging; thoracic imaging; pediatric.

INTRODUZIONE

Lo sviluppo ed il progressivo perfezionamento delle tecniche di *imaging* toracico hanno profondamente modificato l'approccio diagnostico del pediatra.

In particolare, la tomografia computerizzata del torace (tTC) ha permesso una valutazione dettagliata del parenchima polmonare, delle vie aeree e delle strutture mediastiniche, fornendo informazioni non ottenibili con la radiografia convenzionale. Negli ultimi 25 anni, il miglioramento della velocità di acquisizione, la diffusione degli scanner multidetettore (MDCT) e a doppia sorgente e l'ottimizzazione dei protocolli a basso dosaggio hanno reso la TC uno strumento sempre più sicuro ed efficace anche nei bambini.

Lo scopo di questo articolo è analizzare il ruolo della tTC in pneumologia pediatrica, descrivendone l'evoluzione tecnologica, le principali indicazioni cliniche, le strategie di radioprotezione e le modalità di utilizzo nel follow-up delle patologie croniche di interesse pediatrico.

RUOLO DIAGNOSTICO DELLA tTC IN ETÀ PEDIATRICA

La tTC fornisce attualmente le immagini diagnostiche più accurate per l'identificazione delle anomalie parenchimali polmonari. Essa rappresenta il primo esame di scelta nei bambini con sospetta malformazione toracica congenita (Congenital Thoracic Malformations, CTM) ed è considerata il gold standard per la diagnosi delle patologie polmonari interstiziali pediatriche, delle bronchiectasie e delle malformazioni vascolari dell'arco aortico (anelli vascolari).

Oltre a queste indicazioni principali, la tTC trova impiego in numerosi contesti clinici.

Malattie polmonari interstiziali

Nelle malattie polmonari interstiziali pediatriche (Children's Interstitial Lung Diseases, ChILD), la tTC ad alta risoluzione (HRCT) consente la diagnosi radiologica di condizioni quali proteinosi alveolare, linfangectasia polmonare, sarcoidosi (**Figura 1**) ed emosiderosi tramite quadri patologici patognomonici per le varie forme di interstiziopatia. La metodica permette inoltre l'identificazione precoce della malattia parenchimale diffusa a livello del lobulo polmonare secondario e la caratterizzazione delle infezioni opportunistiche nei pazienti immunocompromessi, come lesioni cavitaree o aree a vetro smerigliato, non visibili alla radiografia convenzionale (1).

Infezioni polmonari complicate

La tTC è raccomandata nei bambini con polmoniti ricorrenti o non responsive alla terapia antibiotica e nei casi associati a complicanze parenchimali (ascesso, polmonite necrotizzante) o pleuriche (empiema, fistola broncopleurica, versamento pleurico moderato o severo). In questi contesti, la tTC consente una valutazione dettagliata dell'estensione della malattia e guida le decisioni terapeutiche (2).

Inquadramento e follow up di Fibrosi Cistica (FC) e Discinesia Ciliare Primitiva (DCP)

La tomografia computerizzata ad alta risoluzione (HRCT), è uno strumento sensibile per rilevare precoci cambiamenti strutturali polmonari nella fibrosi cistica (FC) pe-

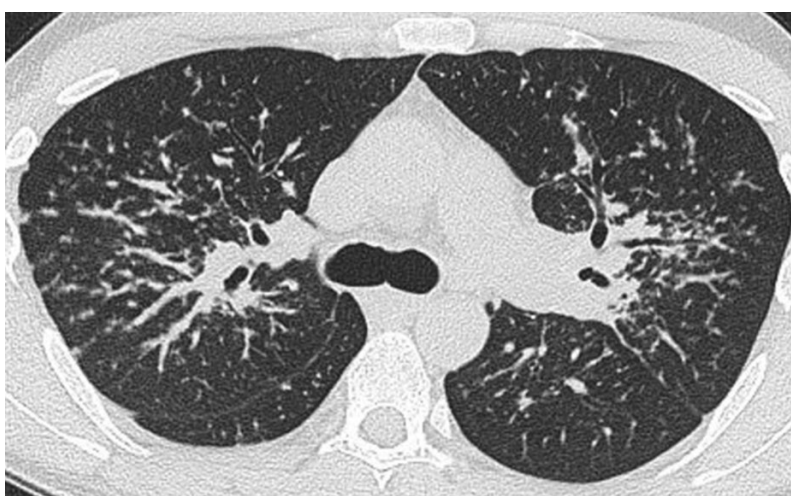


Figura 1. Scansione assiale di TC torace: multipli noduli polmonari sia centrolobulari che subpleurici in paziente con nota sarcoidosi.

diatrica ed è utilizzata per monitorare la progressione della malattia e guidare la gestione, spesso prima che le anomalie siano rilevate dalla radiografia o dai test di funzionalità polmonare (3, 4); approcci simili si applicano alla discinesia ciliare primaria (DCP), dove l'HR-CT può rivelare bronchiectasie caratteristiche dei lobi inferiori e medi, tappi di muco e atelectasia, supportando la diagnosi e il follow-up, mentre il follow-up TC di routine non è universalmente standardizzato a causa di preoccupazioni riguardo la radioesposizione (5-7).

Neoplasie toraciche

La tTC riveste un ruolo fondamentale nella diagnosi delle neoplasie toraciche pediatriche, in particolare delle masse mediastiniche. La definizione dei limiti, dell'estensione, dei margini, dei rapporti e del tipo di potenziamento contrastografico delle masse di pertinenza toracica risulta nettamente superiore rispetto alla radiografia, anche se per la caratterizzazione finale delle lesioni possono essere necessarie ulteriori tecniche di *imaging* (8).

Traumi toracici

La tTC è indicata nella valutazione dei traumi toracici in età pediatrica, in particolare per l'identificazione di pneumotorace (Figura 2) e pneumomediastino, emotorace, contusione polmonare ed ernia diaframmatica post-traumatica. Il suo utilizzo è raccomandato soprattutto in presenza di anomalie all'esame obiettivo o alla

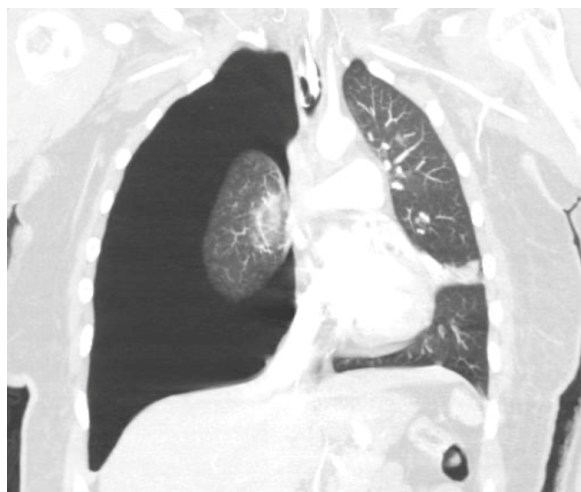


Figura 2. Ricostruzione coronale di TC torace: pneumotorace iperteso massivo a destra con netta riduzione volumetrica del polmone omolaterale (delimitato dalle frecce) e shift sinistro delle strutture mediastiniche; polmone sinistro ipoespanso con stria disventilatoria a decorso orizzontale.

radiografia del torace, consentendo una valutazione più accurata dell'estensione delle lesioni (9).

Sospetto abuso sui minori

Un'indicazione meno frequente ma clinicamente rilevante è rappresentata dalla valutazione del sospetto abuso sui minori, in particolare in presenza di fratture costali indeterminate. In bambini con indagine scheletrica negativa ma alto sospetto clinico, la tTC può contribuire all'identificazione di lesioni non evidenti con altre metodiche (10).

Guida a procedure invasive

La tTC può essere utilizzata per guidare biopsie polmonari e procedure toracoscopiche, migliorando la precisione diagnostica e riducendo il rischio di complicanze.

TECNICHE DI ACQUISIZIONE: INSPIRAZIONE ED ESPIRAZIONE

Le tecniche di acquisizione della tTC pediatrica si sono evolute significativamente negli ultimi 2 decenni. Le scansioni volumetriche ad alta risoluzione in inspirazione rappresentano lo standard per la valutazione della malattia polmonare interstiziale diffusa. Le immagini espiratorie sono, invece, utili in casi selezionati per la valutazione di ostruzione parziale o completa delle piccole vie aeree (air-trapping polmonare), comunemente riconoscibile alla tTC come aree di ridotta attenuazione delle immagini.

Nei bambini non collaboranti, il posizionamento in decubito laterale può simulare una fase espiratoria.

In caso di anestesia generale, è fondamentale eseguire manovre di reclutamento alveolare per evitare atelectasie che possano compromettere la qualità diagnostica.

RADIOPROTEZIONE E RIDUZIONE DELLA DOSE

La tTC comporta un'esposizione significativa alle radiazioni ionizzanti. In pediatria, questo aspetto assume particolare rilevanza, rendendo essenziale l'applicazione rigorosa del principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable) (1).

I parametri di scansione devono essere personalizzati in base alle dimensioni del paziente (peso corporeo, diametro e regione di interesse). La riduzione della corrente del tubo (mA) e del potenziale (kV) consente un significativo calo della dose: il passaggio da 120 kV a 100 kV può determinare una diminuzione della dose compresa tra il 30% e il 70%. Nell'*imaging* angiografico

del torace, l'utilizzo di bassi valori di kV migliora inoltre l'attenuazione del mezzo di contrasto iodato, aumentando il rapporto contrasto/rumore magnificando la visualizzazione delle strutture vascolari (11).

L'aria contenuta nei polmoni fornisce, inoltre, un elevato contrasto naturale con i tessuti molli, rendendo l'*imaging* toracico relativamente tollerante all'aumento del rumore dell'immagine. Ciò permette un'ulteriore riduzione della dose senza perdita di informazioni diagnostiche rilevanti.

CONTROLLO AUTOMATICO DELL'ESPOSIZIONE E TECNOLOGIE AVANZATE

L'uso del controllo automatico dell'esposizione (AEC) è oggi comune nella TC multidetettore. Questa tecnologia modula la corrente del tubo in base all'attenuazione del paziente, riducendo la dose senza compromettere la qualità dell'immagine.

Ulteriori fattori che influenzano l'efficienza della dose sono la configurazione del rivelatore e l'utilizzo di filtri di modellazione del fascio. Gli scanner più recenti, inclusi quelli a doppia sorgente ed a conteggio di fotoni (Photon Counting Detector CT), consentono una qualità d'immagine elevata a dosi significativamente inferiori (1). Bisogna rimarcare, però, che anche il fattore umano è fondamentale nella riduzione della radio esposizione dei piccoli pazienti. Un accorgimento è rappresentato dalla limitazione delle acquisizioni che evita, quando possibile, scansioni senza contrasto o acquisizioni multifasiche, eludendo se possibile l'irradiazione di organi più radiosensibili.

FREQUENZA DI RIPETIZIONE DELLA TC NELLE PATOLOGIE CRONICHE

Considerato quanto la tTC può essere di supporto in pneumologia pediatrica, è fondamentale stabilire criteri appropriati per la sua ripetizione, soprattutto nelle patologie croniche. In linea generale, si raccomanda di ripetere la tTC in caso di peggioramento dei sintomi respiratori o di deterioramento dei test di funzionalità polmonare nel presupposto che la sua esecuzione abbia un ruolo diagnostico e conseguentemente terapeutico e non di semplice inquadramento.

Le linee guida internazionali, su questo aspetto, variano in base alla patologia specifica, ad esempio:

- **CHILD:** la HRCT è indicata per la valutazione iniziale, mentre per il follow-up di routine si preferiscono le radiografie del torace, salvo significativo peggioramento clinico (12).

- **Fibrosi cistica:** non esistono linee guida consensuali sulla frequenza; è raccomandato l'utilizzo di tTC a dose ultra-bassa, riducendo la dose cumulativa (13, 14).
- **Discinesia Ciliare Primitiva:** la tTC non è raccomandata ad intervalli fissi. Le principali linee guida internazionali consigliano però di eseguire una tTC almeno una volta tra i 5 e i 7 anni (quando non è necessaria la sedazione) e successivamente solo se clinicamente indicato (15).
- **Infezione invasiva opportunistica (aspergillosi):** la tTC è indicata per la diagnosi precoce nei bambini immunocompromessi, senza indicazioni precise sulla periodicità (16).
- **Sclerosi sistemica:** la HRCT può essere ripetuta in presenza di sintomi respiratori o alterazioni dei test di funzionalità polmonare (17).

SEDAZIONE, MEZZO DI CONTRASTO E LIMITAZIONI

Una criticità della tTC in età pediatrica è rappresentata dalla necessità di sedazione, soprattutto nei bambini sotto i 5 anni o con difficoltà cognitive. Tuttavia, i moderni scanner MDCT e a doppia sorgente, grazie ai tempi di acquisizione estremamente rapidi, hanno ridotto in modo significativo questa esigenza.

Gli effetti collaterali dell'anestesia includono il rischio di neurotossicità, complicanze respiratorie (atelettasia) e cardiovascolari. Anche l'uso del mezzo di contrasto iodato non è privo di rischi, potendo causare reazioni allergiche o nefrotossicità (1). La recente introduzione dei mezzi di contrasto iodati isosmolari, caratterizzati da un'osmolarità simile a quella del sangue umano, ha garantito una migliore tollerabilità generale degli stessi ed un minor rischio di nefropatia da contrasto; inoltre, nelle indagini angio-TC ha consentito una migliore visualizzazione delle strutture vascolari con minore radiosposizione dei pazienti in termini di dose assorbita (18). In alcune condizioni acute, come le infezioni da adenovirus, la tTC dovrebbe essere evitata per ridurre il rischio di interpretazioni errate legate ad altre patologie con quadri radiologici analoghi ma a decorso irreversibile (12).

IMPLICAZIONI PRATICHE PER IL PEDIATRA

Nell'assistenza Pediatrica, la tTC deve essere considerata una risorsa diagnostica di elevato valore, da utilizzare in modo appropriato e consapevole. È fondamentale conoscere le indicazioni, i limiti e i rischi della metodica, indirizzando il bambino verso centri con esperienza specifica in *imaging* pediatrico.

La collaborazione con contatto diretto tra pediatra, radiologo e pneumologo pediatrico è essenziale per garantire un uso razionale della tTC ed una pianificazione corretta, minimizzando l'esposizione alle radiazioni e massimizzando il beneficio clinico.

CONCLUSIONI E NUOVE PROSPETTIVE PER IL FUTURO

Negli ultimi 25 anni, la tTC in età pediatrica ha subito un'evoluzione significativa, con una drastica riduzione della dose di radiazioni, un miglioramento delle tecniche di acquisizione e un ampliamento delle indicazioni cliniche. Pur rimanendo ad alto impatto diagnostico, il suo utilizzo deve essere sempre ponderato, soprattutto nelle patologie croniche. Un approccio centrato sul bambino, basato su protocolli a basso dosaggio e su una stretta collaborazione multidisciplinare, rappresenta oggi la chiave per un impiego appropriato e sicuro della tTC pediatrica. Nuove prospettive vedono l'associazione della spirometria alla tTC. Salmon *et al.* (19), ad esempio, hanno dimostrato come scansioni assistite dalla spirometria mostrano differenze significative della densità polmonare rispetto a quelle eseguite con apnee volontarie, migliorando la capacità di rilevare l'air trapping. Non è stata rilevata alcuna differenza apprezzabile nella qualità dell'immagine (es. artefatti da movimento) (20).

Tuttavia, ci sono difficoltà logistiche da superare: tra queste, la principale è il raggiungimento di tecniche di

esecuzione standardizzate. La comunità degli pneumologi pediatrici dovrebbe guidare questo processo favorendo tecniche diagnostiche affidabili ed esclusivamente pediatriche, per limitare l'esposizione alle radiazioni.

CONFORMITÀ ALLE NORME ETICHE

Conflitti di interessi

Gli Autori dichiarano l'assenza di conflitti di interessi.

Finanziamenti

Nessun finanziamento è stato ricevuto.

Disponibilità dei dati

Non applicabile.

Conformità etica nella sperimentazione su soggetti umani e animali

Non sono stati condotti esperimenti su esseri umani o animali nell'ambito di questo lavoro.

Dichiarazione di originalità e integrità scientifica

Il manoscritto è originale e scientificamente integro, e non sussistono elementi di plagio.

Contributo degli autori

Tutti gli autori hanno contribuito alla stesura e revisione dell'articolo.

BIBLIOGRAFIA

1. Semple T, Young C, Olsen Ø, Owens C. Diagnostic of the respiratory tract. In: Kendig and Wilmott's disorders of the respiratory tract in children. 10th ed. Elsevier Inc; 2024. p.140.
2. Laya BF, Concepcion NDP, Garcia-Peña P, Naidoo J, Kritisaneepaiboon S, Lee EY. Pediatric Lower Respiratory Tract Infections: Imaging Guidelines and Recommendations. *Radiol Clin North Am.* 2022;60(1):15-40. doi: 10.1016/j.rcl.2021.08.003.
3. Cohen RWF, Folescu TW, Boechat MCB, Fonseca VM, Marques EA, Leão RS. High-resolution computed tomography findings in young infants with cystic fibrosis detected by newborn screening. *Clinics (Sao Paulo).* 2019;74:e1399. doi: 10.6061/clinics/2019/e1399.
4. Wallis C. Diagnosis and presentation of cystic fibrosis. In: Kendig and Wilmott's disorders of the respiratory tract in children. 10th ed. Elsevier Inc; 2024.
5. Hogg C, Ferkol T. Primary ciliary dyskinesia and other ciliopathies. In: Kendig and Wilmott's disorders of the respiratory tract in children. 10th ed. Elsevier Inc; 2024.
6. Lesser DJ, Ryu J, Tantisira KG, Haddad GG. Diagnostic approach to respiratory disease. In: Nelson textbook of pediatrics. 22nd ed. Elsevier Inc; 2025. p. 2513-25.
7. Goutaki M, Shoemark A. Diagnosis of Primary Ciliary Dyskinesia. *Clin Chest Med.* 2022;43(1):127-40. doi: 10.1016/j.ccm.2021.11.008.
8. Hyun JS, Cunningham AJ, Chao SD. Tumors of the chest. In: Kendig and Wilmott's disorders of the respiratory tract in children. 10th ed. Elsevier Inc; 2024. p. 1093.
9. Singh S, Holmes JF. Pediatric trauma. In: Rosen's emergency medicine: concepts and clinical practice. 2023.
10. Karmazyn B, Marine MB, Wanner MR, Cooper ML, Delaney LR, Jennings SG, Eckert GJ, Hibbard RA. Chest CT in the evaluation of child abuse – when is it useful? *Child Abuse Negl.* 2022;133:105823. doi:10.1016/j.chiabu.2022.105823.
11. Brady SL, Frush DP. Biologic effects of ionizing radiation on children. In: Nelson textbook of pediatrics. 22nd ed. Elsevier Inc; 2025. p. 4413.

12. Semple T, Winant AJ, Lee EY. Childhood interstitial lung disease: imaging guidelines and recommendations. *Radiol Clin North Am.* 2022;60(1):83–111. doi:10.1016/j.rcl.2021.08.009.
13. Faro A, Ferkol T. Pulmonary disease in cystic fibrosis. In: Kendig and Wilmott's disorders of the respiratory tract in children. 10th ed. Elsevier Inc; 2024. p. 625.
14. Fayon M, Hill K, Waldron M, Messori B, Riberi L, Svedberg M, et al. Guidance for chest-CT in children and adults with cystic fibrosis: A European perspective. *Respir Med.* 2025;241:108076. doi: 10.1016/j.rmed.2025.108076.
15. De Jesús-Rojas W, Shapiro AJ, Shoemark A. Respiratory aspects of primary ciliary dyskinesia. *Clin Chest Med.* 2024;45(3):717-28. doi:10.1016/j.ccm.2024.02.020.
16. Warris A, Lehrnbecher T, Roilides E, Castagnola E, Brüggemann RJM, Groll AH. ESCMID-ECMM guideline: diagnosis and management of invasive aspergillosis in neonates and children. *Clin Microbiol Infect.* 2019;25(9):1096-113. doi: 10.1016/j.cmi.2019.05.019.
17. Dell SD, Wee W. Pulmonary involvement in the systemic inflammatory diseases of childhood. In: Kendig and Wilmott's disorders of the respiratory tract in children. 10th ed. Elsevier Inc; 2024. p. 732.
18. Lee T, Kim WK, Kim AJ, Ro H, Chang JH, Lee HH, et al. Low-Osmolar vs. Iso-Osmolar Contrast Media on the Risk of Contrast-Induced Acute Kidney Injury: A Propensity Score Matched Study. *Front Med (Lausanne).* 2022;9:862023. doi: 10.3389/fmed.2022.862023.
19. Salamon E, Lever S, Kuo W, Ciet P, Tiddens HA. Spirometer guided chest imaging in children: It is worth the effort! *Pediatr Pulmonol.* 2017;52(1):48-56. doi: 10.1002/ppul.23490.
20. Tiddens HAWM, Kuo W, van Straten M, Ciet P. Paediatric lung imaging: the times they are a-changin'. *Eur Respir Rev.* 2018;27(147):170097. doi: 10.1183/16000617.0097-2017.

REVISIONE

Stato dell'arte della risonanza magnetica polmonare nel follow-up delle patologie polmonari croniche pediatriche

State of the art of lung magnetic resonance imaging in the follow-up of chronic pediatric lung diseases

Teresa Pia **Santangelo**^{1,*}, Davide **Curione**¹, Fabio **Majo**², Federica **Porcaro**², Renato **Cutrerà**², Aurelio **Secinaro**¹

* CORRISPONDENZA

teresapia.santangelo@opbg.net

RIASSUNTO

La risonanza magnetica (RM) polmonare si è affermata come metodica avanzata nel follow-up delle patologie polmonari croniche in età pediatrica. L'assenza di radiazioni ionizzanti, la possibilità di acquisizioni a respiro libero e l'introduzione di sequenze dedicate e di tecniche funzionali consentono oggi una valutazione integrata morfologica e funzionale, ripetibile nel tempo. Questa revisione mostra che i dati attualmente disponibili supportano la RM come metodica di secondo livello in grado di ridurre l'esposizione radiologica, migliorare la fenotipizzazione di malattia e supportare decisioni cliniche (intensità del follow-up, valutazione della risposta terapeutica, selezione dei pazienti per TC mirata).

Implicazioni per la pratica clinica: nei bambini con necessità di indagini radiologiche ripetute nel tempo, la RM può essere integrata in percorsi di follow-up senza radiazioni ionizzanti, riservando la TC a quesiti specifici (dettaglio parenchimale fine, calcificazioni) o a criticità cliniche.

ABSTRACT

Pulmonary magnetic resonance imaging (MRI) has become established as an advanced modality in the follow-up of chronic lung diseases in the pediatric population. The absence of ionizing radiation, the possibility of free-breathing acquisitions, and the introduction of dedicated sequences as well as functional techniques now allow for an integrated morphological and functional assessment that can be repeated over time. This review shows that the currently available data support MRI as a second-level imaging modality capable of reducing radiation exposure, improving disease phenotyping, and supporting clinical decision-making (intensity of follow-up, evaluation of therapeutic response, selection of patients for targeted CT). Implications for clinical practice: children requiring repeated imaging studies over time, MRI can be integrated into radiation-free follow-up pathways, reserving CT for specific diagnostic questions (fine parenchymal detail, calcifications) or clinical criticalities.

DOI

10.63304/PneumolPediatri.2026.04

¹ U.O.C. Imaging Avanzato
Cardioracovascolare e Fetale,
Ospedale Pediatrico Bambino Gesù,
Roma, Italia

² U.O.C. Pneumologia e Fibrosi
Cistica, Ospedale Pediatrico
Bambino Gesù, Roma, Italia

PAROLE CHIAVE

*Risonanza magnetica
polmonare; pediatria; follow-up;
patologie polmonari croniche;
imaging funzionale.*

KEY WORDS

*Lung magnetic resonance
imaging; pediatrics; follow-
up; chronic lung diseases;
functional imaging.*

INTRODUZIONE

Le patologie polmonari croniche in età pediatrica rappresentano una delle principali sfide cliniche e assistenziali della pneumologia moderna in relazione alla necessità di un monitoraggio clinico-radiologico protratto nel tempo, spesso a partire dai primi mesi di vita. In questo contesto, la scelta dell'*imaging* assume un ruolo strategico, poiché deve garantire un'elevata accuratezza diagnostica e una buona riproducibilità nel tempo, riducendo al contempo i rischi a lungo termine della radioesposizione. La tomografia computerizzata (TC) rimane il gold standard per lo studio del parenchima polmonare e delle vie aeree, grazie alla sua eccellente risoluzione spaziale e alla capacità di identificare alterazioni fini e di dettaglio quali ispessimenti settali, aree di ground-glass, bronchiectasie iniziali e air trapping. Tuttavia, nei pazienti pediatrici, l'esposizione a radiazioni ionizzanti rappresenta un limite rilevante, soprattutto nei percorsi di follow-up con valutazioni ripetute negli anni.

La risonanza magnetica (RM) polmonare, storicamente considerata inadatta allo studio del polmone per motivi fisici e tecnici, ha conosciuto negli ultimi anni un'evoluzione sostanziale. Il progresso tecnologico, lo sviluppo di sequenze dedicate (ultrashort echo time – UTE, zero echo time – ZTE), l'introduzione di strategie di compensazione del movimento e la diffusione di protocolli rapidi a respiro libero hanno ampliato la fattibilità e l'accuratezza diagnostica della RM toracica. Tali innovazioni hanno progressivamente trasformato la RM in una reale opzione "radiation-free" per il follow-up delle patologie polmonari croniche pediatriche, con un potenziale rilevante impatto sulla pratica clinica quotidiana (**Figura 1**).

OBIETTIVO DELLA REVISIONE

Fornire una sintesi aggiornata dello stato dell'arte sull'impiego della RM polmonare nel follow-up delle patologie polmonari croniche pediatriche, con focus su: (i) punti

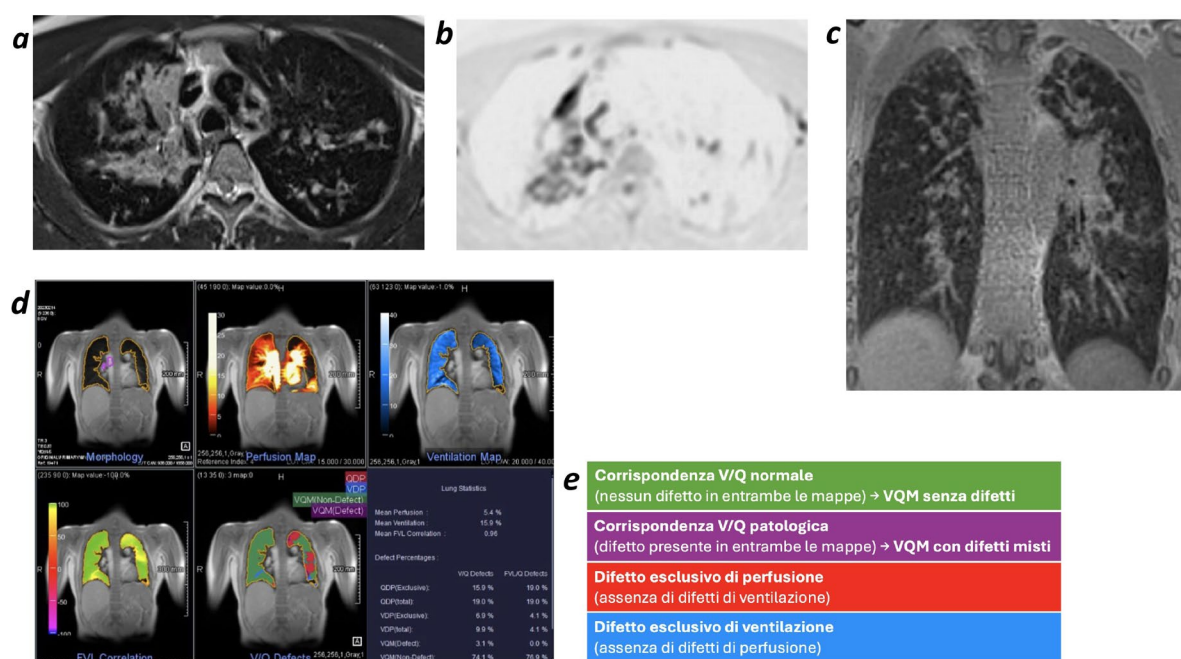


Figura 1. RM polmonari in età pediatrica. Le immagini (a) e (b) mostrano sequenze sul piano assiale rispettivamente BLADE T2-pesate e DWI in paziente affetto da fibrosi cistica, con atelettasia cronica del lobo superiore destro in corso di riaccutizzazione flogistica. In particolare, la sequenza DWI evidenzia fenomeni di restrizione della diffusione, indicativi di attività infiammatoria sovrapposta. L'immagine (c) mostra sequenza UTE sul piano coronale, in paziente con bronchiolite obliterante; sono evidenti alterazioni interstiziali dei lobi superiori associate a ispessimento scissurale a destra compatibili con fenomeni fibrotici polmonari. Le immagini (d) ed (e) illustrano le informazioni ottenibili mediante studio funzionale polmonare RM (PREFUL): in questo caso, per paziente affetto da alterazioni della vascolarizzazione polmonare ad origine cardiogena, la mappa di ventilazione regionale evidenzia aree di ridotta ventilazione, mentre la mappa di perfusione mostra disomogeneità del flusso ematico polmonare, consentendo una valutazione integrata morfo-funzionale del parenchima polmonare senza impiego di mezzo di contrasto né radiazioni ionizzanti.

tecniche essenziali per l'esecuzione; (ii) capacità e limiti rispetto alla TC; (iii) indicazioni cliniche e ripercussioni sulla pratica pediatrica.

DATI SALIENTI EMERSI DAGLI STUDI CONSIDERATI

RM vs TC: vantaggi e svantaggi

La letteratura più recente concorda nel riconoscere alla TC una superiore risoluzione spaziale per la valutazione del dettaglio parenchimale fine e delle calcificazioni. Tuttavia, studi comparativi e revisioni di esperti evidenziano come la RM polmonare, quando eseguita con protocolli dedicati, sia in grado di identificare con buona accuratezza la maggior parte delle alterazioni clinicamente rilevanti nel follow-up di patologie broncopolmonari pediatriche, incluse bronchiectasie, consolidamenti parenchimali, tappi mucosi, aree di iperinflazione e difetti di perfusione. In particolare, Hirsch *et al.* e Liszewski *et al.* sottolineano come l'impatto clinico dell'*imaging* non sia limitato alla sensibilità assoluta della metodica, ma al suo utilizzo in situazioni cliniche necessitanti di valutazioni ripetute riducendo l'esposizione cumulativa a radiazioni (1, 2). In questo contesto, la RM emerge come metodica complementare e non sostitutiva della TC, da inserire in percorsi di follow-up personalizzati e dedicati. Il concetto di equivalenza sul piano clinico rispetto alla TC, più che di equivalenza diagnostica assoluta, risulta particolarmente rilevante in ambito pediatrico: la RM è infatti in grado di fornire informazioni sufficienti per guidare decisioni cliniche lungo il decorso della malattia nella maggior parte delle situazioni di follow-up, pur riconoscendo il ruolo insostituibile della TC per specifici quesiti di dettaglio strutturale (Tabella 1).

Protocolli RM polmonari: approccio pratico

Il protocollo di risonanza magnetica polmonare pediatrica deve essere modulato in funzione dell'età e della capacità collaborativa del paziente. Nei bambini di età inferiore ai 5 anni, l'acquisizione viene generalmente eseguita a respiro libero **con tecniche di trigger respiratorio**, spesso con necessità di sedazione o anestesia. In questa fascia d'età, le singole sequenze possono richiedere tempi più lunghi, mediamente compresi tra 5 e 10 minuti ciascuna, con conseguente incremento della durata complessiva dell'esame.

Nei bambini tra 6 e 12 anni, qualora sia possibile ottenere una collaborazione adeguata, si preferiscono acquisizioni in **breath-hold di breve durata (6–10 secondi)**. Questo approccio consente una significativa riduzione del tempo totale di esame, mantenendo una buona qualità diagnostica (5). Nella pratica clinica, le sequenze T2-TSE respiratorie, bidimensionali, rappresentano tuttora lo standard di base per la RM polmonare pediatrica, offrendo un buon compromesso tra risoluzione spaziale, contrasto e robustezza rispetto agli artefatti (5, 6). Le sequenze UTE e ZTE, che permettono oggi di ottenere immagini tridimensionali ad alta risoluzione, con una qualità diagnostica paragonabile alla TC nella visualizzazione delle bronchiectasie e delle alterazioni parenchimali, devono essere tuttavia considerate come un'integrazione di elevato valore aggiunto, particolarmente utile nel follow-up delle patologie croniche, piuttosto che come un'alternativa equivalente alle sequenze convenzionali. Le tecniche di *imaging* funzionale (Fourier decomposition e PREFUL) permettono una valutazione di ventilazione e perfusione senza l'utilizzo di mezzo di contrasto ampliando il ruolo della RM oltre l'analisi morfologica, mentre la real-time RM (RT-MRI)

Tabella 1. Confronto TC vs RM polmonare – Modello decisionale.

Scenario	TC – quando preferirla	RM – quando preferirla
Fibrosi Cistica	Definizione morfologica di dettaglio iniziale	Follow-up seriale; monitoraggio funzionale (ventilazione/perfusione); valutazione risposta ai modulatori CFTR
Prematurità / BPD	Necessità di dettaglio strutturale submillimetrico	Follow-up longitudinale radiation-sparing; valutazione disomogeneità regionale
Bronchiolite obliterante	Diagnosi iniziale; air trapping lieve (HRCT insp/esp)	Follow-up; monitoraggio funzionale regionale
chILD	Definizione iniziale pattern interstiziali	Follow-up longitudinale; integrazione morfo-funzionale; valutazione coinvolgimento vascolare
Sorveglianza oncologica	Stadiazione iniziale; ricerca micronoduli (<4–5 mm)	Sorveglianza ripetuta; studio masse mediastiniche/parete; caratterizzazione multiparametrica
Parete toracica / Diaframma	Pianificazione chirurgica; dettaglio osseo	Studio dinamico funzionale (RT-MRI); follow-up problematiche neuromuscolari

permette lo studio dinamico della meccanica respiratoria e delle vie aeree centrali (3-5, 9).

Applicazioni cliniche nel follow-up delle patologie polmonari croniche

Le evidenze disponibili supportano l'impiego della RM polmonare in numerosi contesti clinici pediatrici (2, 6-12, 14-16). In tali ambiti, la RM consente un monitoraggio con valutazioni ripetute privo di radiazioni ionizzanti, integrando informazioni strutturali e funzionali di rilevanza clinica.

Fibrosi cistica. In questo contesto, ed in considerazione della necessità di *imaging* ripetuto dall'età pediatrica all'età adulta, la RM polmonare si è progressivamente affermata come alternativa priva di radiazioni, capace di fornire informazioni morfologiche e funzionali clinicamente rilevanti e comparabili alla TC, in particolare attraverso l'utilizzo delle sequenze UTE e a TE ultrabreve di tipo PETRA/ZTE (6, 7). Studi di confronto diretto hanno infatti dimostrato un'eccellente concordanza tra RM e TC nella valutazione degli score strutturali (con coefficienti di correlazione intraclasse molto elevati) e hanno documentato la capacità della RM di identificare già nei primi anni di vita ispessimento delle pareti bronchiali, bronchiectasie, tappi mucosi e difetti di perfusione, nonché di monitorare la progressione di malattia in relazione a tosse, riacutizzazioni e colonizzazione batterica (15). Le tecniche di *imaging* funzionale consentono inoltre di visualizzare alterazioni regionali di perfusione, ventilazione e della circolazione polmonare e bronchiale tipiche della FC. Le sequenze T2-pesate risultano sensibili agli stati infiammatori attivi, distinguendoli dal tessuto fibrotico. Parametri RM funzionali hanno inoltre mostrato potenziale valore predittivo rispetto al rischio di future riacutizzazioni polmonari permettendo il monitoraggio della risposta terapeutica. Tali caratteristiche assumono particolare rilevanza nell'attuale era dei modulatori del CFTR, in cui è fondamentale disporre di strumenti sensibili per valutare precocemente l'efficacia delle nuove terapie e personalizzare i percorsi di follow-up (14).

Esiti di prematurità e displasia broncopolmonare (BPD). Nei soggetti nati pretermine, e in particolare nei pazienti con displasia broncopolmonare (BPD), l'*imaging* ha un ruolo cruciale nel descrivere l'evoluzione delle alterazioni strutturali e nel cogliere l'impatto funzionale a lungo termine su parenchima e circolo polmonare, aspetto particolarmente importante nei percorsi di follow-up longitudinali che possono estendersi dall'età neonatale all'adolescenza. Il lavoro di Katz *et al.* si inserisce in questa prospettiva, dimostrando come la RM,

strumento di follow up radiation sparing, sia applicabile nei bambini ex-pretermine, consentendo di caratterizzare differenze tra soggetti con e senza BPD e di evidenziare un profilo di malattia spesso eterogeneo (8). La RM consente di passare da una valutazione "media" della funzione polmonare a una valutazione regionale, più sensibile nel rilevare disomogeneità ventilatorie e perfusionali e nel supportare una fenotipizzazione più precisa dei pazienti. Come discusso nella review di Walkup *et al.*, le acquisizioni a respiro libero e le sequenze a eco ultrabreve (UTE e affini, dove disponibili) migliorano la capacità di descrivere pattern parenchimali residui e alterazioni delle vie aeree, pur riconoscendo che la TC mantiene un vantaggio per il dettaglio submillimetrico e per specifici quesiti. Sul versante funzionale, tecniche RM non invasive possono fornire mappe di ventilazione e perfusione regionali, contribuendo a intercettare precocemente anomalie funzionali anche quando la spirometria o altri parametri globali risultano conservati.

Bronchiolite obliterante. La bronchiolite obliterante rappresenta una patologia delle piccole vie aeree caratterizzata da sindrome ostruttiva fissa, air trapping ed eterogeneità regionale della ventilazione e della perfusione. In questo scenario, la TC, in particolare con acquisizioni inspiratorie ed espiratorie, rimane il riferimento diagnostico per la dimostrazione del pattern di attenuazione a mosaico e dell'intrappolamento aereo anche in forma lieve. Tuttavia, come discusso da Walkup *et al.* (10), i recenti sviluppi della RM polmonare – sequenze UTE e tecniche funzionali – hanno ampliato significativamente le potenzialità della RM nelle malattie ostruttive pediatriche. Le acquisizioni UTE consentono una migliore visualizzazione del parenchima rispetto alle sequenze convenzionali e risultano più robuste al movimento respiratorio, permettendo esami in respiro libero, caratteristica particolarmente rilevante nei bambini non collaboranti. Tuttavia, la risoluzione spaziale della RM, non raggiunge il dettaglio submillimetrico della TC nella valutazione fine delle piccole vie aeree, tale metodica mantiene quindi una maggiore sensibilità nella dimostrazione dell'air trapping lieve o iniziale e nella caratterizzazione morfologica dettagliata. La RM può essere pertanto considerata metodica complementare e particolarmente indicata nel follow-up pediatrico a medio-lungo termine, dove l'obiettivo è monitorare l'impatto regionale e funzionale della malattia riducendo l'esposizione radiologica cumulativa.

Malattie interstiziali polmonari dell'infanzia (chILD). Le chILD rappresentano un gruppo eterogeneo di condizioni rare nelle quali l'*imaging* svolge un ruolo centrale

sia nella fase diagnostica sia nel monitoraggio evolutivo. Come evidenziato da Spielberg *et al.* (11), la TC rimane la metodica di riferimento per la caratterizzazione iniziale dei pattern interstiziali grazie alla sua elevata risoluzione spaziale e alla capacità di identificare alterazioni di dettaglio quali reticolazione fine, ispessimenti settali, aree di ground-glass e cisti submillimetriche. Gli autori sottolineano come l'utilizzo di sequenze UTE e di acquisizioni tridimensionali ad alta risoluzione abbia migliorato significativamente la capacità della RM di valutare il parenchima polmonare, consentendo una descrizione morfologica sempre più affidabile anche in presenza di bassa densità protonica e brevi tempi di rilassamento del tessuto polmonare. Inoltre, la RM offre un valore aggiunto potenziale attraverso l'integrazione di informazioni funzionali – incluse valutazioni regionali di ventilazione e perfusione – che possono contribuire a una caratterizzazione più globale del coinvolgimento parenchimale e vascolare, aspetto particolarmente rilevante nelle chILD associate a ipertensione polmonare o a disfunzione vascolare. Pertanto, secondo l'approccio delineato dagli autori, la RM può essere considerata una metodica complementare e particolarmente utile nel follow-up longitudinale, nell'integrazione morfo-funzionale e nei percorsi di sorveglianza a lungo termine nei pazienti pediatrici.

Sorveglianza oncologica toracica. Nella sorveglianza oncologica toracica, la RM si configura come metodica multiparametrica complementare alla TC, in grado di integrare informazioni morfologiche e funzionali mediante l'impiego combinato di sequenze UTE/ZTE, diffusione (DWI) e acquisizioni dinamiche con mezzo di contrasto. Tale approccio risulta particolarmente vantaggioso nella valutazione delle masse mediastiniche, dell'infiltrazione della parete toracica e del coinvolgimento vascolare, contesti nei quali il contrasto tissutale intrinseco e le informazioni funzionali della RM offrono un valore aggiunto rispetto alla sola valutazione densitometrica della TC (13). Permangono tuttavia limiti strutturali della RM nello studio del parenchima polmonare fine: la TC mantiene una sensibilità superiore nella rilevazione di noduli polmonari di piccole dimensioni (<4–5 mm) e nel dettaglio submillimetrico. In questo quadro, la RM non sostituisce la TC nella stadiazione iniziale e nella ricerca di micrometastasi polmonari, ma rappresenta uno strumento complementare ad alto valore aggiunto nel follow-up oncologico, in particolare nei pazienti pediatrici o in quelli sottoposti a monitoraggi ripetuti, nei quali la riduzione della dose cumulativa di radiazioni costituisce un obiettivo prioritario.

Patologia della parete toracica e del diaframma. L'introduzione della RT-MRI toracica costituisce un rilevante avanzamento nello studio dinamico della parete toracica e del diaframma in età pediatrica, consentendo, mediante sequenze ultrarapide, la visualizzazione continua del ciclo respiratorio. La RT-MRI permette una valutazione qualitativa e quantitativa della cinetica diaframmatica e della deformabilità della parete toracica, risultando utile nelle deformità toraciche e nelle patologie neuromuscolari (9). Tuttavia, la TC mantiene una superiore risoluzione spaziale per la definizione anatomica delle componenti ossee e per la pianificazione chirurgica. In un approccio integrato, la RT-MRI si configura pertanto come metodica di riferimento per la valutazione funzionale nel follow-up pediatrico, mentre la TC conserva un ruolo centrale nella caratterizzazione anatomica dettagliata e pre-operatoria.

LIMITI E CRITICITÀ ATTUALI DELL'IMPIEGO CLINICO DELLA RM POLMONARE

Nonostante i rilevanti progressi tecnologici e il crescente supporto della letteratura, l'impiego della RM polmonare in ambito pediatrico è ancora limitato dai costi elevati, dalla necessità di apparecchiature e software dedicati non uniformemente disponibili e, nei pazienti non collaboranti, dal frequente ricorso a sedazione o anestesia generale, con conseguenti implicazioni organizzative e di sicurezza. Ulteriori criticità derivano dalla mancanza di protocolli standardizzati a livello internazionale e dalla variabilità inter-sistema nella qualità delle immagini e nelle sequenze disponibili, fattori che ostacolano una diffusione più ampia della metodica e sottolineano la necessità di interventi strutturati di standardizzazione e formazione.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE CON INDICAZIONI PER LA PRATICA CLINICA

La RM polmonare è una metodica in rapida progressione per il follow-up delle patologie polmonari croniche pediatriche. Pur non sostituendo completamente la TC per quesiti di dettaglio, essa consente un monitoraggio ripetibile e privo di radiazioni ionizzanti, integrando morfologia e funzione. La recente integrazione di algoritmi di intelligenza artificiale e deep learning rappresenta una prospettiva promettente per la riduzione dei tempi di acquisizione, la segmentazione automatica e la quantificazione oggettiva della malattia, favorendo una maggiore standardizzazione, una migliore riproducibilità inter-osservatore e l'adozione di

metriche quantitative nei protocolli di follow-up clinico e di ricerca.

Nella pratica pediatrica, l'adozione di percorsi condivisi (pediatra–pneumologo–radiologo) consente di strutturare il follow-up in modo più razionale e sicuro:

1. **Riservare la TC** a indicazioni mirate o a fasi di cambiamento clinico significativo, quando è necessario il massimo dettaglio parenchimale o la valutazione di calcificazioni.
2. **Utilizzare la RM** (con sequenze T2-TSE integrate da UTE/ZTE e, quando disponibile, *imaging* funzionale) come metodica di riferimento per il monitoraggio nel tempo anche a lungo termine senza impiego di radiazioni ionizzanti.
3. **Personalizzare la sorveglianza** nei pazienti con necessità di ripetute indagini diagnostiche radiologiche, integrando dati morfologici e funzionali per supportare decisioni cliniche e terapeutiche individualizzate.

In prospettiva, l'integrazione strutturata della RM polmonare nei percorsi di follow-up delle patologie croniche pediatriche rappresenta non solo una scelta tecnologica, ma un cambiamento di paradigma orientato alla sostenibilità, alla sicurezza a lungo termine e alla qualità complessiva della cura del paziente pediatrico.

Take-home messages per la pratica clinica

- La RM polmonare non sostituisce la TC, ma ne riduce significativamente l'utilizzo nel follow-up pediatrico, consentendo un monitoraggio longitudinale efficace e privo di radiazioni.
- Le sequenze T2-TSE respiratorie e le sequenze UTE/ZTE rappresentano oggi i pilastri del protocollo RM polmonare pediatrico: le prime come base robusta e riproducibile, le seconde per la valutazione avanzata del parenchima e delle vie aeree periferiche;

l'*imaging* funzionale aggiunge un ulteriore livello di informazioni nelle patologie croniche.

- L'integrazione RM–clinica–valutazione funzionale permette una sorveglianza personalizzata nei bambini con necessità di numerose indagini diagnostiche radiologiche, supportando decisioni terapeutiche e timing degli esami TC mirati.

CONFORMITÀ ALLE NORME ETICHE

Conflitti di interessi

Gli Autori dichiarano l'assenza di conflitti di interessi.

Finanziamenti

Nessun finanziamento è stato ricevuto.

Disponibilità dei dati

Non applicabile.

Conformità etica nella sperimentazione su soggetti umani e animali

Non sono stati condotti esperimenti su esseri umani o animali nell'ambito di questo lavoro.

Dichiarazione di originalità e integrità scientifica

Il manoscritto è originale e scientificamente integro, e non sussistono elementi di plagio.

Contributo degli autori

Tutti gli Autori hanno partecipato alla stesura e revisione del manoscritto. TS ha scritto il manoscritto e revisionato la letteratura scientifica. I restanti Autori hanno discusso la traccia dell'articolo, valutato la bibliografia e contribuito alla revisione critica della versione finale dell'articolo.

BIBLIOGRAFIA

1. Hirsch FW, Sorge I, Vogel-Claussen J, Roth C, Gräfe D, Päs A, et al. The current status and further prospects for lung magnetic resonance imaging in pediatric radiology. *Pediatr Radiol.* 2020;50(5):734-49. doi: 10.1007/s00247-019-04594-z.
2. Liszewski MC, Ciet P, Winant AJ, Lee EY. Lung and large airway imaging: magnetic resonance imaging versus computed tomography. *Pediatr Radiol.* 2022 Sep;52(10):1814-25. doi: 10.1007/s00247-022-05386-8.
3. Geiger J, Zeimpekis KG, Jung A, Moeller A, Kellenberger CJ. Clinical application of ultrashort echo-time MRI for lung pathologies in children. *Clin Radiol.* 2021;76(9):708.e9-708.e17. doi: 10.1016/j.crad.2021.05.015.
4. Drummond D, Marquant F, Zanelli E, Lozach C, Boddart N, Taam RA, et al. Radiation-free and injection-free imaging of the paediatric chest using a magnetic resonance imaging protocol including zero time echo sequence (3D-ZTE). *Eur J Pediatr.* 2024;183(10):4297-308. doi: 10.1007/s00431-024-05678-1.
5. Sodhi KS, Ciet P, Vasanawala S, Biederer J. Practical protocol for lung magnetic resonance imaging and common clinical indications. *Pediatr Radiol.* 2022;52(2):295-311. doi: 10.1007/s00247-021-05090-z.

6. Stahl M, Steinke E, Graeber SY, Joachim C, Seitz C, Kauczor HU. Magnetic Resonance Imaging Detects Progression of Lung Disease and Impact of Newborn Screening in Preschool Children with Cystic Fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med*. 2021;204(8):943-53. doi: 10.1164/rccm.202102-0278OC.
7. Wielpütz MO, Stahl M, Triphan SMF, Wucherpfennig L, Leutz-Schmidt P, Gestewitz S, et al. Longitudinal Magnetic Resonance Imaging of Changes in Lung Morphology and Perfusion in Children with Cystic Fibrosis from Infancy through Adolescence. *Ann Am Thorac Soc*. 2025;22(1):93-103. doi: 10.1513/AnnalsATS.202404-396OC.
8. Katz SL, Parraga G, Luu TM, Santyr G, Abdeen N, Deschenes S, et al. Pulmonary Magnetic Resonance Imaging of Ex-Preterm Children with and without Bronchopulmonary Dysplasia. *Ann Am Thorac Soc*. 2022;19(7):1149-57. doi: 10.1513/AnnalsATS.202106-691OC.
9. Hirsch FW, Sorge I, Voit D, Frahm J, Prenzel F, Wachowiak R, et al. Chest examinations in children with real-time magnetic resonance imaging: first clinical experience. *Pediatr Radiol*. 2023;53(1):12-20. doi: 10.1007/s00247-022-05421-8.
10. Walkup LL, Higano NS, Woods JC. Structural and Functional Pulmonary Magnetic Resonance Imaging in Pediatrics-From the Neonate to the Young Adult. *Acad Radiol*. 2019;26(3):424-30. doi: 10.1016/j.acra.2018.08.006.
11. Spielberg DR, Weinman J, DeBoer EM. Advancements in imaging in ChILD. *Pediatr Pulmonol*. 2024;59(9):2276-85. doi: 10.1002/ppul.26487.
12. Mairhörmann B, Castelblanco A, Häfner F, Koliogiannis V, Haist L, Winter D, et al. Automated MRI Lung Segmentation and 3D Morphologic Features for Quantification of Neonatal Lung Disease. *Radiol Artif Intell*. 2023;5(6):e220239. doi: 10.1148/ryai.220239.
13. Azour L, Ohno Y, Biederer J, Hochegger B, Bauman G, Hatabu H, et al. Lung MRI: Indications, Capabilities, and Techniques-AJR Expert Panel Narrative Review. *AJR Am J Roentgenol*. 2025;225(4):e2532637. doi: 10.2214/AJR.25.32637.
14. Ciet P, Bertolo S, Ros M, Casciaro R, Cipolli M, Colagrande S, et al. State-of-the-art review of lung imaging in cystic fibrosis with recommendations for pulmonologists and radiologists from the "iMAging managEment of cystic fibROsis" (MAESTRO) consortium. *Eur Respir Rev*. 2022;31(163):210173. doi: 10.1183/16000617.0173-2021.
15. Dournes G, Walkup LL, Benlala I, Willmering MM, Macey J, Bui S, et al. The Clinical Use of Lung MRI in Cystic Fibrosis: What, Now, How? *Chest*. 2021;159(6):2205-2217. doi: 10.1016/j.chest.2020.12.008.
16. Woods JC, Wild JM, Wielpütz MO, Clancy JP, Hatabu H, Kauczor HU, et al. Current state of the art MRI for the longitudinal assessment of cystic fibrosis. *J Magn Reson Imaging*. 2020;52(5):1306-1320. doi: 10.1002/jmri.27030.

REVISIONE

Radiografia del torace ed ecografia polmonare nella pratica clinica pediatrica

Chest radiography and lung POCUS in pediatric practice

Federica Rodofile¹, Paolo Del Greco^{2,*}, Vittorio Romagnoli³,
Alessandro Volpini³

* CORRISPONDENZA:

paolo.delgreco@meyer.it

DOI

10.63304/PneumolPediatri.2026.05

¹ SOD Broncopneumologia, IRCCS AOU Meyer, Firenze, Italia

² SOD Broncopneumologia e Endoscopia Respiratoria, IRCCS AOU Meyer, Firenze, Italia

³ SOD Pediatria, Dipartimento Materno-Infantile, Ospedale Pediatrico ad Alta Specializzazione "G. Salesi" AOU di Ancona, Ancona, Italia

RIASSUNTO

Le malattie respiratorie rappresentano la principale causa di ospedalizzazione in età pediatrica, rendendo fondamentale la scelta appropriata della metodica di *imaging*. La radiografia del torace rimane l'esame di prima linea per la sua ampia disponibilità, ma il suo utilizzo deve essere clinicamente giustificato per minimizzare l'esposizione alle radiazioni ionizzanti nei bambini, particolarmente radiosensibili. L'ecografia polmonare point-of-care (POCUS) si è affermata come valida alternativa priva di radiazioni, con sensibilità diagnostica superiore (91–96%) rispetto alla radiografia (89–91%) nella diagnosi di polmonite pediatrica e con particolare utilità nella bronchiolite, nel monitoraggio dei versamenti pleurici e delle complicanze polmonari.

SUMMARY

Respiratory diseases are the leading cause of hospitalization in pediatric patients, making appropriate imaging selection essential. Chest radiography is the first-line imaging modality due to its wide availability, but its use must be clinically justified to minimize ionizing radiation exposure in children, who are particularly radiosensitive. Point-of-care lung ultrasound (POCUS) has emerged as a valid radiation-free alternative, with higher diagnostic sensitivity (91–96%) compared to chest radiography (89–91%) for pediatric pneumonia diagnosis, and is particularly useful in bronchiolitis, pleural effusion monitoring, and pulmonary complications.

INTRODUZIONE

Le malattie respiratorie rimangono la principale causa di ospedalizzazione nella popolazione pediatrica. La radiografia del torace è la modalità di *imaging* più utilizzata nella pratica clinica grazie alla sua ampia disponibilità, alla rapidità di acquisizione e alla dose di radiazioni relativamente bassa rispetto alla tomografia computerizzata (1). Tuttavia, il suo utilizzo deve essere clinicamente giustificato per bilanciare il beneficio diagnostico con i potenziali rischi dati dalle radiazioni ionizzanti nei bambini. Sebbene la radiologia convenzionale abbia a lungo rappresentato la principale tecnica diagnostica utilizzata, l'avvento dell'ecografia polmonare point-

PAROLE CHIAVE

Radiografia torace; POCUS; polmonite; radiazioni ionizzanti; complicanze polmonari.

KEY WORDS

Chest radiography; POCUS; pediatric pneumonia; radiation exposure; pulmonary complications.

of-care (POCUS) ha trasformato significativamente l'approccio clinico al letto del paziente consegnando uno strumento non invasivo, privo di radiazioni e altamente sensibile, la cui validità è stata stabilita da consensi internazionali, come le linee guida del 2020 che ne standardizzano l'uso nella gestione della bronchiolite e della polmonite acquisita in comunità (2, 3).

Questa revisione valuta i ruoli della radiografia del torace e della POCUS nei pazienti pediatrici, concentrandosi sulle indicazioni comuni, sui reperti tipici e su come la presentazione clinica guidi la scelta dell'*imaging*. L'esposizione alle radiazioni, l'età del paziente e il contesto clinico sono item da valutare in particolare con la possibilità di utilizzare la POCUS che emerge come strumento complementare o alternativo per la valutazione toracica.

PRINCIPALI RISULTATI DEGLI STUDI ESAMINATI

Nella pratica clinica è importante andare a valutare la riduzione dell'esposizione alle radiazioni ionizzanti. Questa attenzione si basa sulla maggiore sensibilità dei bambini alle radiazioni e sulla nota relazione dose-risposta tra esposizione alle radiazioni e rischio di sviluppo di tumori, supportando le raccomandazioni di favorire tecniche non ionizzanti e di minimizzare le dosi di radiazioni quando l'*imaging* ionizzante non può essere evitato (1, 2).

OTTIMIZZAZIONE DELLA DOSE DI RADIAZIONI

L'esposizione alle radiazioni dovrebbe essere mantenuta al livello più possibile e adattata alle dimensioni del bambino e all'indicazione clinica per evitare complicanze future. Diverse tecniche sono impiegate routinariamente per minimizzare la dose mantenendo tuttavia la qualità diagnostica dell'immagine. Nei lattanti, l'utilizzo di un kilovoltaggio di picco più elevato (≥ 60 kV) riduce il kerma in aria e la dose efficace di oltre il 50% senza compromettere la qualità diagnostica (3). Per i bambini di peso compreso tra 10 e 20 kg, impostazioni di tensione del tubo più basse (75 kVp) consentono una riduzione della dose del 35% rispetto ai protocolli standard (4). Protocolli ottimizzati che regolano i parametri in base all'età e alle dimensioni possono ridurre la dose di radiazioni di fattori da 1,5 a oltre 5 nelle diverse fasce d'età pediatriche (5).

Sono essenziali quindi sistemi centralizzati di monitoraggio della dose e programmi di controllo qualità per

tracciare l'esposizione alle radiazioni, confrontare le dosi tra ospedali e individuare modalità per migliorare i protocolli di *imaging* (6). Questi sistemi aiutano gli ospedali a stabilire limiti di dose standard chiamati Livelli Diagnostici di Riferimento (LDR) necessari per mantenere le radiazioni al livello più basso possibile, identificare dosi insolitamente alte o basse e monitorare i cambiamenti nel tempo (6). Misure regolari di controllo qualità, inclusa la valutazione delle dimensioni del campo, della collimazione, del posizionamento del paziente e dei parametri di esposizione, sono essenziali per garantire che le radiografie del torace pediatriche siano ottenute con la dose di radiazioni più bassa possibile mantenendo la qualità diagnostica.

INTERPRETAZIONE RADIOGRAFICA E INDICAZIONI CLINICHE PER LA RADIOGRAFIA DEL TORACE

Secondo la European Society of Paediatric Radiology (ESPR) è fondamentale eseguire una valutazione sistematica quando si esegue una radiografia del torace in particolare valutando i volumi polmonari, le anomalie parenchimali focali, i contorni mediastinici, la silhouette cardiaca, la configurazione delle vie aeree centrali e della presenza di aria o liquido pleurico. La comprensione dello sviluppo polmonare è fondamentale per un'interpretazione accurata, in particolare nei neonati e nei prematuri i cui polmoni sono spesso fisiologicamente e morfologicamente immaturi (1).

I segni radiografici chiave di uno sviluppo polmonare incompleto si possono riassumere in volumi polmonari ridotti, opacità reticolo-granulose diffuse, broncogrammi aerei e ispessimento interstiziale. Nei neonati pretermine con sindrome da distress respiratorio, le radiografie del torace mostrano una ridotta espansione polmonare e opacità granulari fini e simmetriche (a vetro smerigliato) in tutto il polmone, spesso accompagnate da prominenti broncogrammi aerei dovuti al collasso alveolare e al deficit di surfattante (1). In pazienti con quadro di displasia broncopolmonare, specialmente nei neonati di peso molto basso alla nascita, le radiografie possono rivelare opacità reticolari grossolane, aree di iperinflazione e talvolta zone cistiche, sebbene nell'era attuale della terapia con surfattante i reperti siano spesso più sfumati e riflettano un arresto dello sviluppo alveolare e vascolare piuttosto che la classica fibrosi (1).

In contesti non emergenziali (ambulatoriali), la radiografia del torace di routine non è un esame necessario per la conferma di sospetta polmonite acquisita in comunità (CAP) nei bambini clinicamente stabili (2). L'*imaging*

dovrebbe essere riservata ai pazienti con ipossiemia, distress respiratorio significativo o fallimento della terapia antibiotica iniziale per valutare complicanze tra cui il versamento parapneumonico, lo pneumotorace o la polmonite necrotizzante (2). Nei bambini con wheezing, infiltrati radiografici sono rilevati solo nel 4,9% complessivo, e la radiografia del torace non è routinariamente raccomandata a meno che non siano presenti febbre o ipossiemia (2). Le radiografie del torace non possono distinguere in modo affidabile la CAP virale da quella batterica e raramente influenzano le decisioni di ospedalizzazione nei bambini in buone condizioni generali (2). Le radiografie del torace non dovrebbero inoltre essere considerate esami di routine per il *follow-up* di pazienti in assenza di complicanze, ma dovrebbero essere ottenute in coloro che non mostrano miglioramento clinico entro 48-72 ore dall'inizio della terapia antibiotica (2). Nei neonati e nei lattanti, la radiografia del torace è uno strumento di ausilio per valutare la sindrome da distress respiratorio, la tachipnea transitoria del neonato e la sindrome da aspirazione di meconio (1, 2).

INTERPRETAZIONE ECOGRAFICA E INDICAZIONI CLINICHE PER L'ECOGRAFIA POLMONARE POINT-OF-CARE

La POCUS è una modalità di *imaging* validata e priva di radiazioni utilizzabili in diverse condizioni respiratorie pediatriche (7).

Tale tecnica si fonda sull'analisi della linea pleurica, un'interfaccia iperecogena generata dalla differenza di impedenza acustica tra pleura e polmone aerato. In condizioni fisiologiche, i foglietti viscerale e parietale producono il fenomeno dinamico del lung sliding ed artefatti orizzontali di riverbero denominati linee A.

La perdita della linearità pleurica, classificata e descritta in base a spessore e presenza di nodularità, e la comparsa di artefatti verticali (linee B o code di cometa) segnalano processi di deaerazione e/o ispessimento dell'interstizio. Tali reperti, seppur aspecifici, risultano essenziali per l'identificazione di processi patologici sottostanti.

Bronchiolite virale acuta: il paradigma della sindrome interstiziale ecografica

In questa condizione, l'infezione determina un processo infiammatorio delle vie aeree distali che coinvolge l'interstizio, con un conseguente aumento dell'essudato extra-vascolare e una progressiva perdita di aerazione polmonare. Dal punto di vista ecografico, questo fenomeno si traduce nella comparsa delle linee B e nella

contestuale scomparsa delle fisiologiche linee A. La distribuzione e la morfologia di tali artefatti riflettono fedelmente la gravità dell'impegno polmonare: la presenza di linee B separate è indice di un edema interstiziale moderato, mentre la loro confluenza (linee B coalescenti) indica un quadro di severità maggiore. Una zona di polmone positiva per sindrome interstiziale è definita dalla presenza di tre o più linee B in un piano longitudinale tra due coste (corrispondente a un'area di scansione). Studi condotti su ampie coorti pediatriche hanno dimostrato che la POCUS possiede una sensibilità del 96,6% e una specificità del 98,7% nell'identificare i piccoli pazienti che necessitano di supporto respiratorio (19), mostrando una correlazione diretta tra la severità clinica e lo score ecografico, volto a quantificare il grado di deaerazione polmonare attraverso la valutazione della distorsione della linea pleurica e la progressione degli artefatti da linee B isolate a consolidamenti parenchimali.

Polmonite acquisita in comunità e complicanze

Il quadro ecografico della polmonite è rappresentato da una regione ipoecogena sub-pleurica o con ecogenicità simile a quella di un tessuto (epatizzazione), che differisce dal pattern ecografico circostante costituito da tessuto aerato. Un confine irregolare separa il polmone consolidato da quello normalmente aerato. Spesso sono presenti broncogrammi aerei che possono essere dinamici o statici, contribuendo a distinguere rispettivamente tra polmonite e atelettasia.

Diversi studi e successive metanalisi hanno consolidato il ruolo della lung ultrasound (LUS) come valida alternativa alla radiografia del torace nella gestione della polmonite pediatrica, avendo evidenziato una elevata sensibilità diagnostica e la capacità di identificare lesioni millimetriche non rilevabili con l'*imaging* tradizionale. L'integrazione di score quantitativi, come il *PedP-ne score*, potrebbe permettere inoltre di correlare l'estensione del danno alla gravità clinica ed eventualmente di monitorare, quando indicato, la riparazione tissutale e l'efficacia della terapia antibiotica, garantendo un *follow-up* accurato e privo di rischi radiologici.

L'efficacia della metodica si estende in modo significativo al monitoraggio del *follow-up* e alla gestione delle complicanze necrotiche e suppurative. L'ascesso polmonare, ad esempio, si manifesta ecograficamente come una struttura capsulata ben delimitata che circonda un nucleo ipoecogeno, privo di vascolarizzazione al Color-Doppler. È possibile distinguere l'ascesso polmonare dal piopneumotorace attraverso la presenza di tutti e quattro i segni specifici: livelli idro-aerei, movimen-

to sincrono dei livelli idro-aerei con gli atti respiratori, perdita dello sliding pleurico sopra il livello idro-aereo e il segno delle micro bolle sospese (zone puntiformi iperecogene con ombre che si muovono casualmente con il movimento respiratorio all'interno del versamento pleurico) (9). Studi recenti hanno confermato che le misurazioni degli ascessi effettuate tramite LUS correlano strettamente con i reperti della tomografia computerizzata (TC), suggerendo l'ecografia come strumento di elezione per monitorare l'efficacia della terapia antibiotica ed evitare ripetute esposizioni radianti (9).

Un ambito di fondamentale importanza clinica è rappresentato dalla gestione dell'empima, un versamento pleurico infetto, purulento e spesso lobulato dovuto a un'infezione parenchimale che si diffonde alla cavità pleurica. L'*imaging* ecografico si rivela in questo contesto superiore alla radiologia tradizionale grazie alla sua capacità di caratterizzare il versamento empiematoso come una lesione ipoecogena caratterizzata dalla presenza di setti e tralci di fibrina, spesso associata ad aree di atelettasia passiva del parenchima circostante (10). L'accuratezza della LUS nella valutazione quantitativa e qualitativa del versamento ne fa uno strumento decisivo nella diagnosi differenziale ma anche nella definizione dell'iter terapeutico, potendo guidare l'eventuale trattamento chirurgico con posizionamento un drenaggio e l'opportunità di instillare agenti fibrinolitici intrapleurici (10). Inoltre, le recenti linee guida ESPID del 2023 attribuiscono alla LUS un ruolo anche nel *follow-up* a lungo termine: nei quadri più severi, l'ecografia è raccomandata insieme ai test di funzionalità respiratoria per monitorare l'eventuale effusione residua e verificare il ripristino della corretta motilità diaframmatica, garantendo una valutazione completa del recupero funzionale (11).

Una frontiera di crescente interesse è l'ecografia con mezzo di contrasto (CEUS), che si sta affermando come un complemento alla LUS standard in ambito pediatrico. Sebbene l'esperienza clinica sia ancora in fase di consolidamento, le evidenze attuali sottolineano l'efficacia della CEUS nella valutazione delle polmoniti complicate. Studi condotti su popolazioni pediatriche hanno dimostrato come questa metodica permetta di identificare precocemente aree di polmonite necrotizzante attraverso la visualizzazione di aree non vascolarizzate all'interno della consolidazione parenchimale (12).

Atelettasia e il segno del “Lung Pulse”

L'atelettasia polmonare rappresenta una complicanza di molteplici patologie e uno dei principali ostacoli allo svezzamento dal supporto ventilatorio. Il collasso al-

veolare si manifesta con consolidamenti sub-pleurici e broncogrammi statici e con l'identificazione del “Lung Pulse”, ovvero la percezione delle vibrazioni cardiache sulla linea pleurica in assenza di *sliding* polmonare. Questo segno è patognomonico di un'atelettasia completa e possiede una sensibilità del 93% e una specificità del 100%, permettendo una diagnosi precoce, spesso anticipando i segni rilevabili alla radiografia standard (13).

Malattie polmonari interstiziali rare e malformazioni

L'utilità della LUS si sta espandendo anche verso le patologie interstiziali rare dell'età pediatrica, tradizionalmente studiate tramite biopsia o TC torace. Nella Tachipnea Persistente dell'Infanzia, la LUS ha evidenziato una correlazione significativa con i reperti TC, caratterizzata da alterazioni della linea pleurica e da un incremento patologico della densità delle linee B rispetto ai controlli sani.

Sebbene la TC rimanga il *gold standard* diagnostico nel sospetto iniziale, la LUS si propone come metodica utile nel monitoraggio longitudinale, minimizzando l'onere radiologico cumulativo (1).

Infine, nell'ambito delle malformazioni polmonari congenite, pur con i limiti fisici legati alla profondità di alcune lesioni, la LUS può offrire informazioni vitali in casi selezionati, come l'identificazione di sovrainfezioni di malformazioni cistiche a localizzazione superficiale.

ACCURATEZZA DIAGNOSTICA E LIMITAZIONI

La possibilità di revisionare le immagini radiografiche da parte di più medici rappresenta un vantaggio chiave della radiografia del torace rispetto a metodiche operatore-dipendenti come l'ecografia polmonare. L'interpretazione assistita da algoritmi di deep learning migliora sensibilità e accuratezza diagnostica rispetto alla lettura convenzionale, in particolare per lesioni come noduli, consolidamenti e pneumotorace, come dimostrato da studi multicentrici e meta-analisi; la specificità rimane simile e sono necessari ulteriori studi di validazione (2, 3).

Le meta-analisi mostrano che la radiografia del torace raggiunge una sensibilità dell'89–91% e una specificità del 90–91% nella diagnosi di polmonite nei bambini, mentre l'ecografia polmonare dimostra una sensibilità leggermente superiore (91–96%) e una specificità analoga (90–93%) (3, 4).

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE CON INDICAZIONI PER LA PRATICA CLINICA PEDIATRICA QUOTIDIANA

In linea con i principi del Choosing Wisely, la selezione dell'*imaging* nei pazienti pediatrici dovrebbe essere guidata da un'attenta valutazione del rapporto rischio-beneficio, con l'indicazione clinica, l'età del paziente ed il sospetto clinico che orientano la scelta della tecnica di *imaging* più adeguata. La POCUS è emersa come una valida alternativa priva di radiazioni alla radiografia del torace per la diagnosi di polmonite e condizioni respiratorie pediatriche (4-7).

Nei contesti di pronto soccorso, la POCUS può accelerare la diagnosi e ha dimostrato di ridurre l'utilizzo della radiografia del torace senza aumentare i casi di polmonite non diagnosticata o gli eventi avversi. La maggior parte degli attuali algoritmi dell'intelligenza artificiale in radiologia è sviluppata per gli adulti e richiede validazione e ottimizzazione per le popolazioni pediatriche, in particolare per i bambini più piccoli, come sottolineato dalla dichiarazione congiunta multisocietaria dell'American College of Radiology, della European Society of Paediatric Radiology, della Society for Pediatric Radiology e di altre società scientifiche, che evidenzia la necessità di dataset specifici per l'età pediatrica, classificazioni di sicurezza e strategie di implementazione personalizzate per garantire un utilizzo sicuro ed efficace nei bambini (3-5). Nella pratica clinica quotidiana, si dovrebbe evitare di eseguire radiografia del torace routinariamente nei bambini in buone condizioni generali con sospetta polmonite acquisita in comunità ed in questo caso considerare la POCUS come esame di prima linea se disponibile e se ci sono operatori con adeguata formazione. La radiografia del torace andrebbe riservata a pazienti con ipossiemia, distress respiratorio significativo o fallimento terapeutico. È importante in questi casi collaborare con i colleghi radiologi per utilizzare protocolli standardizzati

e ottimizzati al fine di minimizzare l'esposizione alle radiazioni mantenendo la qualità diagnostica, come raccomandato dalla Pediatric Infectious Diseases Society e dalla Infectious Diseases Society of America, dall'American College of Radiology e dalla European Society of Paediatric Radiology.

CONFORMITÀ ALLE NORME ETICHE

Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano di non avere conflitti di interesse da segnalare.

Finanziamenti

Questo studio non ha ricevuto finanziamenti esterni né supporto economico da enti pubblici o privati.

Disponibilità dei dati pubblicati

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

Conformità etica nella sperimentazione su soggetti umani e animali

Non sono stati condotti esperimenti su esseri umani o animali nell'ambito di questo lavoro.

Dichiarazione di originalità e integrità scientifica

Il manoscritto è originale e scientificamente integro, e non sussistono elementi di plagio.

Contributo degli autori

Tutti gli autori hanno partecipato alla stesura e alla revisione del manoscritto. FR ha revisionato la letteratura scientifica e valutato la biografia; AV e VR hanno discusso la traccia della POCUS; PD ha contribuito alla revisione critica della versione finale dell'articolo.

BIBLIOGRAFIA

1. Fancourt N, Deloria Knoll M, Barger-Kamate B, de Campo J, de Campo M, Diallo M, et al. Standardized Interpretation of Chest Radiographs in Cases of Pediatric Pneumonia From the PERCH Study. Clin Infect Dis. 2017;64(suppl_3):S253-S261. doi: 10.1093/cid/cix082.
2. Na F, Wang Y, Tian C, Zhang H, Jing Y, Ke X, et al. Diagnostic accuracy of various imaging modalities for children with pneumonia: a systematic review and network meta-analysis. Eur Respir Rev. 2025;34(178):250161. doi: 10.1183/16000617.0161-2025.
3. Balk DS, Lee C, Schafer J, Welwarth J, Hardin J, Novack V, et al. Lung ultrasound compared to chest X-ray for diagnosis of pediatric pneumonia: A meta-analysis. Pediatr Pulmonol. 2018;53(8):1130-9. doi: 10.1002/ppul.24020.
4. Lovrenski J, Raissaki M, Plut D, Alexopoulou E, Görkem SB, Ozcan HN, et al. ESR Essentials: imaging of common paediatric pulmonary diseases-practice recommendations by the European Society of Paediatric Radiology.

- gy. *Eur Radiol.* 2025;35(8):5037-52. doi: 10.1007/s00330-024-11268-4.
5. Williams GJ, Macaskill P, Kerr M, Fitzgerald DA, Isaacs D, Codarini M, McCaskill M, Prelog K, Craig JC. Variability and accuracy in interpretation of consolidation on chest radiography for diagnosing pneumonia in children under 5 years of age. *Pediatr Pulmonol.* 2013;48(12):1195-200. doi: 10.1002/ppul.22806.
 6. Venkatakrishna SSB, Stadler JAM, Kilborn T, le Roux DM, Zar HJ, Andronikou S. Evaluation of the diagnostic performance of physician lung ultrasound versus chest radiography for pneumonia diagnosis in a peri-urban South African cohort. *Pediatr Radiol.* 2024;54(3):413-24. doi: 10.1007/s00247-023-05686-7.
 7. Goodman D, Crocker ME, Pervaiz F, McCollum ED, Steenland K, Simkovich SM, et al. Challenges in the diagnosis of paediatric pneumonia in intervention field trials: recommendations from a pneumonia field trial working group. *Lancet Respir Med.* 2019;7(12):1068-83. doi: 10.1016/S2213-2600(19)30249-8.
 8. Shi C, Xu X, Xu Y. Systematic review and meta-analysis of the accuracy of lung ultrasound and chest radiography in diagnosing community acquired pneumonia in children. *Pediatr Pulmonol.* 2024;59(12):3130-47. doi: 10.1002/ppul.27221.
 9. Yan JH, Yu N, Wang YH, Gao YB, Pan L. Lung ultrasound vs chest radiography in the diagnosis of children pneumonia: Systematic evidence. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(50):e23671. doi: 10.1097/MD.00000000000023671.
 10. American Academy of Pediatrics Committee on Pediatric Emergency Medicine, Section on Radiology; American College of Emergency Physicians Pediatric Emergency Medicine Committee; American College of Radiology; Marin JR, Lyons TW, Claudius I, et al. Optimizing Advanced Imaging of the Pediatric Patient in the Emergency Department: Technical Report. *J Am Coll Radiol.* 2024;21(7):e37-e69. doi: 10.1016/j.jacr.2024.03.016.
 11. Claes AS, Clapuyt P, Menten R, Michoux N, Dumitriu D. Performance of chest ultrasound in pediatric pneumonia. *Eur J Radiol.* 2017;88:82-7. doi: 10.1016/j.ejrad.2016.12.032.
 12. Marin JR, Rodean J, Hall M, Alpern ER, Aronson PL, Chaudhari PP, et al. Trends in Use of Advanced Imaging in Pediatric Emergency Departments, 2009-2018. *JAMA Pediatr.* 2020;174(9):e202209. doi: 10.1001/jamapediatrics.2020.2209.
 13. Drummond D, Marquant F, Zanelli E, Lozach C, Boddart N, Taam RA, et al. Radiation-free and injection-free imaging of the paediatric chest using a magnetic resonance imaging protocol including zero time echo sequence (3D-ZTE). *Eur J Pediatr.* 2024;183(10):4297-308. doi: 10.1007/s00431-024-05678-1.
 14. Gorkem SB, Coskun A, Yikilmaz A, Zurakowski D, Mulkern RV, Lee EY. Evaluation of pediatric thoracic disorders: comparison of unenhanced fast-imaging-sequence 1.5-T MRI and contrast-enhanced MDCT. *AJR Am J Roentgenol.* 2013;200(6):1352-7. doi: 10.2214/AJR.12.9502.
 15. Sodhi KS, Ciet P, Vasanawala S, Biederer J. Practical protocol for lung magnetic resonance imaging and common clinical indications. *Pediatr Radiol.* 2022;52(2):295-311. doi: 10.1007/s00247-021-05090-z.
 16. Konietzke P, Mueller J, Wuennemann F, Wagner WL, Schenk JP, Alrajab A, et al. The value of chest magnetic resonance imaging compared to chest radiographs with and without additional lung ultrasound in children with complicated pneumonia. *PLoS One.* 2020;15(3):e0230252. doi: 10.1371/journal.pone.0230252.
 17. Ultrasound and Magnetic Resonance Imaging in Thoracic Tuberculosis in the Pediatric Population: Moving Beyond Conventional Radiology. *Pediatric Radiology.* 2023. Sodhi KS, Kritsaneeapaiboon S, Jana M, Bhatia A.
 18. Lung and Large Airway Imaging: Magnetic Resonance Imaging Versus Computed Tomography. *Pediatric Radiology.* 2022. Liszewski MC, Ciet P, Winant AJ, Lee EY.
 19. Basile V, Di Mauro A, Scalini E, Comes P, Lofù I, Mostert M, Tafuri S, Manzionna MM. Lung ultrasound: a useful tool in diagnosis and management of bronchiolitis. *BMC Pediatr.* 2015;15:63. doi: 10.1186/s12887-015-0380-1.

CASE REPORT

Bronchiolite obliterante post-infettiva: sfide diagnostiche e ruolo della valutazione longitudinale

Post-infectious bronchiolitis obliterans: diagnostic challenges and the role of longitudinal assessment

Alessandro **Dorato**^{1,3}, Giuseppe Fabio **Parisi**², Pietro **Estori**¹, Margherita **Di Jorgi**¹, Monica **Tosto**², Angelo **Florio**¹, Salvatore **Leonardi**², Oliviero **Sacco**^{1,*}

* CORRISPONDENZA

olivierosacco@gaslini.org

DOI

10.63304/PneumolPediatri.2026.06

¹ UOC Pneumologia Pediatrica ed Endoscopia Respiratoria IRCCS Gaslini, Genova, Italia

² U.O.C. Broncopneumologia Pediatrica, Azienda Ospedaliera Universitaria Policlinico "G. Rodolico - San Marco", Catania, Italia

³ Dipartimento di Scienze Mediche Traslazionali, Azienda Ospedaliera Universitaria Federico II, Napoli, Italia

RIASSUNTO

Questo *case report* presenta una bambina con bronchiolite obliterante post-infettiva (PIBO), rara malattia cronica delle piccole vie aeree in età pediatrica, spesso riconosciuta tardivamente. Il lavoro mostra come una valutazione integrata e longitudinale permetta di distinguere le alterazioni infiammatorie transitorie dagli esiti strutturali permanenti della malattia. L'analisi combinata di dati clinici, funzionali e di *imaging* consente una definizione più accurata del quadro in fase stabilizzata e mette in evidenza il ruolo delle riacutizzazioni infettive nel mascherare la patologia sottostante. Il caso supporta l'importanza di un follow-up strutturato nei pazienti con sospetta PIBO.

ABSTRACT

This case report describes a pediatric patient with post-infectious bronchiolitis obliterans (PIBO), a rare chronic disease of the small airways in childhood that is frequently recognized late. The report demonstrates how an integrated, longitudinal assessment allows differentiation between transient inflammatory changes and permanent structural sequelae of the disease. The combined analysis of clinical, functional, and imaging data enables a more accurate characterization of the disease in its stabilized phase and highlights the role of infectious exacerbations in obscuring the underlying pathology. This case underscores the importance of a structured follow-up strategy in patients with suspected PIBO.

INTRODUZIONE

La bronchiolite obliterante post-infettiva (PIBO) è una rara patologia cronica delle piccole vie aeree in età pediatrica, che insorge tipicamente nei primi anni di vita, quando il parenchima polmonare è in una fase di rapido accrescimento e maturazione. È caratterizzata da un'ostruzione bronchiale, persistente e generalmente irreversibile, quale esito di un danno infiammatorio a carico dell'epitelio bronchiolare, indotto dall'effetto citopatico acuto di pneumovirus (più comunemente adenovirus e RSV), ma anche morbillo, influenza, nonché *Mycoplasma pneumoniae*. Il danno

PAROLE CHIAVE

Bronchiolite obliterante post-infettiva (PIBO); malattia delle piccole vie aeree; TC torace; adenovirus; follow-up longitudinale.

KEY WORDS

Post-infectious bronchiolitis obliterans (PIBO); small airways disease; chest CT; adenovirus; longitudinal follow-up.

citopatico acuto sull'epitelio bronchiale causa una risposta infiammatoria della parete che tende a cronicizzarsi, determinando una progressiva fibrosi parietale, fino all'obliterazione intraluminale dei bronchioli. La diagnosi può risultare complessa e spesso ritardata, soprattutto nei casi con presentazione clinica sfumata o sovrapposta ad altre condizioni respiratorie acute o croniche. Presentiamo il caso di una bambina seguita nell'ambito di un percorso assistenziale e diagnostico condiviso tra due centri pneumologici pediatrici di riferimento, osservata inizialmente durante un episodio infettivo acuto intercorrente presso l'Ospedale San Marco di Catania e successivamente rivalutata presso l'Istituto Gianina Gaslini di Genova in fase di stabilità clinica, il che ha consentito una definizione più accurata della natura e dell'estensione del danno polmonare.

CASE PRESENTATION

Storia clinica

Bambina di 9 anni, nata a termine da parto eutocico, peso alla nascita di 3680 g e sviluppo psicomotorio regolare. Veniva alimentata con latte artificiale fin dalla nascita e sottoposta regolarmente alle vaccinazioni previste dal calendario vaccinale Nazionale. L'anamnesi familiare risultava negativa per patologie respiratorie di rilievo. L'anamnesi patologica remota era caratterizzata da due episodi di bronchiolite, rispettivamente a 3 e 6 mesi di età, trattati a domicilio e quindi non caratterizzati come pneumovirus responsabile del quadro clinico. Quindi episodio di broncopneumite di probabile eziologia batterica a 8 mesi, diagnosticato radiograficamente e trattato in regime di degenza. Negli anni successivi si osservavano episodi ricorrenti di infezioni delle basse vie aeree associati a wheezing, gestiti nel tempo mediante cicli ripetuti di terapia antibiotica e corticosteroidi sistemici. Nel maggio 2022, all'età di 6 anni, la paziente veniva ricoverata presso la U.O.C. di Broncopneumologia Pediatrica dell'Ospedale San Marco di Catania per un nuovo episodio di polmonite batterica diagnosticato radiologicamente e trattato con ossigenoterapia, antibiotici e corticosteroidi sistemici. Sebbene si registrasse un iniziale miglioramento clinico, nel periodo successivo la sintomatologia respiratoria si manteneva sostanzialmente stabile, caratterizzata da tosse cronica produttiva, prevalente nelle ore mattutine, e facile affaticabilità, con progressiva riduzione della tolleranza allo sforzo. Nel corso del 2024 la paziente intraprendeva un follow-up regolare presso gli ambulatori specialistici di Pneumologia Pediatrica del medesimo Istituto. All'esame obiettivo respiratorio si riscontrava ipofonesi persi-

stente in sede medio-basale. La valutazione allergologica risultava negativa. Dal punto di vista auxologico, la paziente presentava obesità (BMI 29,3 kg/m²), associata ad acanthosis nigricans e striae rubrae, condizioni potenzialmente interferenti con la meccanica respiratoria e con il controllo della sintomatologia.

Valutazione diagnostica

Nell'aprile 2025, all'età di 8 anni, la paziente presentava una nuova riacutizzazione clinica con insufficienza respiratoria acuta con necessità di ricovero presso la Pneumologia Pediatrica dell'Ospedale San Marco di Catania e durante il quale veniva documentata infezione da Adenovirus, Metapneumovirus e Mycoplasma pneumoniae. La radiografia del torace mostrava un severo ispessimento delle pareti bronchiali fino alle diramazioni più distali, compatibile con un quadro di bronchite. Il trattamento con antibiotici, corticosteroidi sistemici e supporto respiratorio determinava un miglioramento clinico solo parziale, con persistenza di tosse e dispnea. Alla rivalutazione funzionale ambulatoriale post-acuta, dopo 4 settimane dalla dimissione, la spirometria documentava un deficit ventilatorio di tipo misto, con FEV1 pari a 1,25 L (Z score -2,35; 71% del predetto) e FVC pari a 1,66 L (Z score -1,45; 82% del predetto), in assenza di reversibilità significativa al broncodilatatore. In considerazione della persistenza della sintomatologia e del sospetto di una patologia cronica sottostante, la paziente veniva ricoverata per un approfondimento diagnostico multidisciplinare a distanza di un mese dalla dimissione del precedente ricovero di aprile. Durante la degenza, le valutazioni allergologiche e immunologiche risultavano nella norma. Venivano escluse fibrosi cistica (FC): test del sudore ripetutamente negativo e screening genetico di primo livello per FC negativo per mutazioni genetiche di significato patologico; la discinesia ciliare primaria veniva esclusa per l'assenza di elementi clinici suggestivi. Le prove di funzionalità respiratoria confermavano un pattern ostruttivo fisso; l'oscillometria forzata documentava un aumento della resistenza e della reattanza delle vie aeree. Dopo un mese dal ricovero di aprile veniva eseguita TC del torace ad alta risoluzione, in fase subacuta, che evidenziava plurimi noduli centrolobulari con aspetto ad "albero in fiore", associati a ispessimento delle pareti bronchiali, ectasie bronchiali basali destre e tenui aree di vetro smerigliato. La videobroncoscopia, eseguita a distanza di circa 10 giorni dalla TC, mostrava vie aeree centrali pervie ed una lieve riduzione del calibro del bronco lobare medio; l'analisi del liquido di broncolavaggio (BAL) documentava un quadro infiammatorio a prevalenza neutrofila, in

assenza di crescita batterica significativa. Nel complesso, l'integrazione dei dati anamnestici, clinici, funzionali e radiologici raccolti presso il centro di Catania risultava indicativa di una malattia delle piccole vie aeree compatibile con esiti di bronchiolite obliterante post-infettiva, su cui si era sovrapposto un fatto infettivo acuto intercorrente di natura virale con presenza di adenovirus e metapneumovirus al tampone faringeo.

Intervento terapeutico

Alla dimissione dal centro di Catania veniva impostata terapia con prednisone alla dose di 2 mg/kg/die, calcolata sul peso ideale e successivamente scalata, esomeprazolo, azitromicina a lungo termine, montelukast, per via inalatoria associazione di fluticasone/salmeterolo per via inalatoria. Contestualmente veniva avviato un percorso di decremento ponderale e prescritta fisioterapia respiratoria con PEP-mask.

Follow-up ed esiti

Con la terapia prescritta si osservava un progressivo miglioramento clinico e funzionale, pur in persistenza di un quadro ostruttivo residuo alle spirometrie di controllo. La paziente riferiva riduzione della facile affaticabilità e sporadici episodi di tosse. Considerata la complessità del quadro e la necessità di una rivalutazione in fase di stabilità clinica, la paziente veniva quindi indirizzata presso la U.O.C. di Pneumologia Pediatrica ed Endoscopia Respiratoria dell'Istituto Giannina Gaslini di Genova, ove la paziente giungeva nel dicembre 2025. All'ingresso in reparto si presentava in buone condizioni cliniche generali, normosaturante in aria ambiente. L'esame obiettivo respiratorio documentava ridotta trasmissione del murmure vescicolare e difusi crepitii medio-basali a destra. Le prove di funzionalità respiratoria mostravano un deficit ventilatorio misto di grado moderato, senza reversibilità, concapacità di diffusione alveolo-capillare del monossido di carbonio (DLCO) e frazione di ossido nitrico esalato (FeNO) nei limiti di norma. La TC del torace, eseguita in condizioni di sostanziale benessere, lontano da ogni fatto infettivo intercorrente, dimostrava un pattern a mosaico bilaterale con segni di oligoemia regionale ed ectasie bronchiali lievi con ispessimento parietale. La scintigrafia polmonare perfusionale documentava una marcata ipoperfusione globale del polmone destro rispetto al controlaterale. L'insieme dei dati raccolti nei due centri, in fasi diverse della storia naturale della malattia, consentiva di definire un quadro coerente con esiti stabilizzati di bronchiolite obliterante post-infettiva, osservati in fase di malattia ormai "spenta".

slini di Genova, ove la paziente giungeva nel dicembre 2025. All'ingresso in reparto si presentava in buone condizioni cliniche generali, normosaturante in aria ambiente. L'esame obiettivo respiratorio documentava ridotta trasmissione del murmure vescicolare e difusi crepitii medio-basali a destra. Le prove di funzionalità respiratoria mostravano un deficit ventilatorio misto di grado moderato, senza reversibilità, concapacità di diffusione alveolo-capillare del monossido di carbonio (DLCO) e frazione di ossido nitrico esalato (FeNO) nei limiti di norma. La TC del torace, eseguita in condizioni di sostanziale benessere, lontano da ogni fatto infettivo intercorrente, dimostrava un pattern a mosaico bilaterale con segni di oligoemia regionale ed ectasie bronchiali lievi con ispessimento parietale. La scintigrafia polmonare perfusionale documentava una marcata ipoperfusione globale del polmone destro rispetto al controlaterale. L'insieme dei dati raccolti nei due centri, in fasi diverse della storia naturale della malattia, consentiva di definire un quadro coerente con esiti stabilizzati di bronchiolite obliterante post-infettiva, osservati in fase di malattia ormai "spenta".

Cronologia

La sequenza degli eventi clinici, diagnostici e terapeutici, dalla prima infanzia fino ad oggi è riportata in **Tabella 1**, evidenziando la progressiva evoluzione del quadro respiratorio e il razionale del passaggio a una valutazione di secondo livello.

Tabella 1. Clinical timeline.

Età / periodo	Centro	Evento clinico	Valutazioni ed esami chiave	Esiti e decisioni
3 mesi	-	Bronchiolite	-	Trattamento domiciliare
6 mesi	-	Bronchiolite	-	-
8 mesi	-	Broncopolmonite	-	Ricovero
Maggio 2022	Osp. San Marco, Catania	Polmonite	Rx torace, leucocitosi, PCR ↑	O2, antibiotici, steroidi; tosse persistente
Aprile–Maggio 2025	Osp. San Marco, Catania	Ricovero per insufficienza respiratoria acuta in corso di infezione (Adenovirus, Metapneumovirus, Mycoplasmapneumoniae)	Rx torace: ispessimento bronchiale; spirometria: deficit misto non reversibile; TC torace: noduli centrolobularitree- in-bud, ispessimento bronchiale, ectasie basali; BAL: neutrofilia	Diagnosi di sospetta bronchiolite obliterante post- infettiva; terapia con steroide sistemico, azitromicina, ICS/LABA, fisioterapia
Dicembre 2025	Istituto Giannina Gaslini, Genova	Rivalutazione di secondo livello in fase stabile	PFR: deficit misto moderato; TC torace: pattern a mosaico; scintigrafia perfusionale: ipoperfusione polmone destro	Conferma di esiti stabilizzati di bronchiolite obliterante post- infettiva

DISCUSSIONE

La bronchiolite obliterante post-infettiva (PIBO) rappresenta una condizione clinica rara, con pochi casi descritti in letteratura e senza un'incidenza definita. Spesso la patologia non viene correttamente diagnosticata, soprattutto nella sua prima fase acuta, quando lo stato infiammatorio da infezione virale viene etichettato come una semplice bronchiolite a lenta risoluzione. Si ipo-

tizza quindi che la maggior parte dei casi rimanga non diagnosticata per lunghi periodi, soprattutto nei quadri con sintomatologia lieve e aspecifica. Anche nel caso descritto, la paziente manifestava nei suoi primi anni di vita sintomi respiratori con andamento indolente. Anche se tutti i differenti pneumovirus causanti la bronchiolite possono poi indurre anche lo sviluppo della PIBO, l'infezione da adenovirus è quella che più frequentemente viene associata alla PIBO, come anche riportato in una recente *case series* pubblicata su *Pediatric Pulmonology*, in cui tutti i pazienti presentavano infezione da adenovirus (1). In un altro report, l'adenovirus si confermava la principale causa di PIBO, responsabile di circa il 71% dei casi nei bambini sotto i 3 anni (2), ed il rischio di sviluppare PIBO dopo un'infezione respiratoria da adenovirus delle basse vie aeree è stimato intorno al 28% (3).

Si sottolinea che, durante il ricovero dell'aprile 2025 all'età di 8 anni, veniva documentata infezione da Adenovirus, Metapneumovirus e Mycoplasma pneumoniae, ma non si ritiene che né questo evento infettivo, né la polmonite del 2022 siano stati gli eventi che abbiano portato allo sviluppo della PIBO. Infatti, come riportato: già negli anni successivi all'episodio di polmonite del 2022, la paziente aveva continuato a presentare tosse cronica produttiva, prevalente al mattino, e facile affaticabilità con progressiva limitazione dell'attività fisica. Si ritiene invece che il primitivo danno polmonare sia avvenuto come conseguenza dei due episodi di bronchiolite a 3 e 6 mesi e poi della broncopolmonite ad 8 mesi di età anche se di questi episodi non si conoscono i pneumovirus responsabili. Si ritiene in-

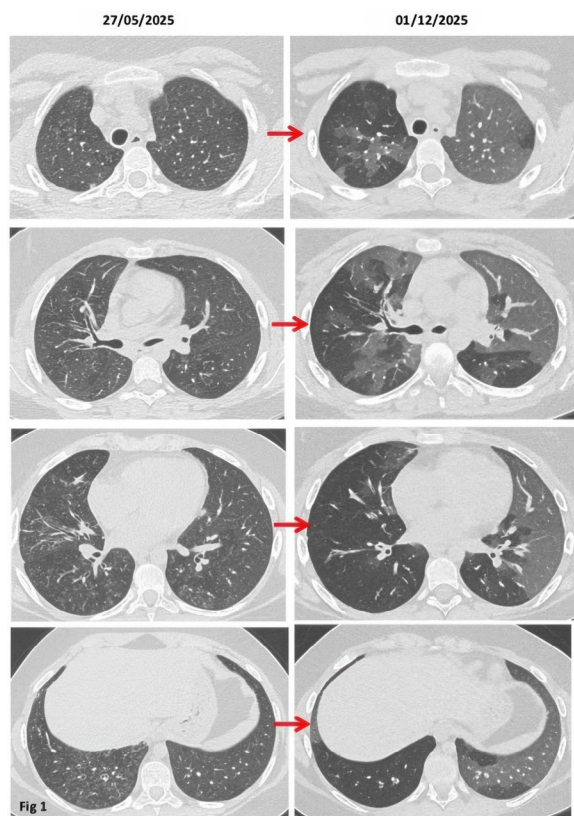


Figura 1. Confronto delle immagini, a livello delle stesse sezioni polmonari, delle TC torace: la prima eseguita il 27/05/2025 in fase subacuta, dopo un mese dal ricovero di aprile; la seconda il 02/12/2025 in condizioni di sostanziale benessere, lontano da fatti infettivi intercorrenti. Nella prima TC il fatto infiammatorio polmonare acuto non si è ancora risolto, come dimostrato dai plurimi noduli centrolobulari con aspetto ad “albero in fiore”, associati a ispessimento delle pareti bronchiali, ectasie bronchiali basali destre e tenui aree con aspetto a “vetro smerigliato” diffuse ad entrambi i polmoni. Nella seconda TC, eseguita a distanza di sei mesi dalla prima, tutte le immagini riferibili allo stato infiammatorio acuto si sono risolte ma il parenchima polmonare dimostra un pattern a mosaico bilaterale con segni di oligoemia regionale ed ectasie bronchiali lievi con ispessimento parietale. Le zone di oligoemia, espressione della bronchiolite obliterante, sono molto più evidenti a carico del polmone destro rispetto al controlaterale, che presenta un parenchima meglio conservato.

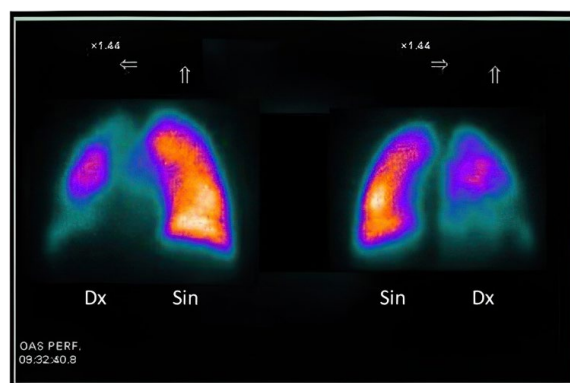


Figura 2. Scintigrafia polmonare perfusoria. Si conferma il dato TC del maggior danno parenchimale a carico del polmone destro. La ripartizione della perfusione dimostra infatti che questa è a carico del polmone sinistro per il 65%, mentre al polmone destro affiora solo il restante 35%.

fatti che la PIBO si instauri quando uno pneumovirus, ed in particolare l'adenovirus, causi un danno citopatico a carico della mucosa broncoalveolare del bimbo entro il primo o il secondo anno di età, alterando così il normale accrescimento del parenchima polmonare, inteso come insieme funzionale alveolo-capillare. La gravità clinica dell'infezione virale ed il seguente grado di danno citopatico correlano strettamente con il rischio di PIBO, che infatti si sviluppa più frequentemente in pazienti che abbiano richiesto ventilazione meccanica, abbiano presentato polmonite multifocale, ipercapnia o degenza superiore ai 30 giorni. Nel caso della nostra paziente, in un polmone con tutta probabilità già interessato da alterazioni parenchimali da PIBO, si instaurava poi un'infezione da adenovirus nell'aprile del 2025 che portava ad una riaccensione della fase florida della malattia. Le manifestazioni cliniche della paziente in tale periodo: crepitii prominenti nei quadranti medio-basali del torace a destra, associati a tosse cronica e intolleranza allo sforzo fisico con dispnea, nonostante i ripetuti cicli di terapia steroidea sistemica e terapia antibiotica, erano infatti simili alla sintomatologia della fase acuta descritta in letteratura quale fase prodromica della PIBO: tachipnea, tosse, respiro sibilante, intolleranza all'esercizio ed ipossiemia cronica-persistente per almeno 6 settimane dopo il fatto infettivo acuto. Studi di coorte a lungo termine (2) hanno documentato una grave compromissione della funzione polmonare nei bambini con PIBO, spiegata da una crescita disproporzionata del parenchima polmonare rispetto alle vie aeree (4). Ne consegue che le prove di funzionalità respiratoria nei pazienti con PIBO mostrano pattern caratteristici: curva flusso-volume tipicamente con deficit ostruttivo, fisso o irreversibile, con riduzione del FEV1, dell'indice di Tiffeneau ($FEV1/FVC$) e del flusso espiratorio di fine espirazione (MEF25). La risposta alla broncodilatazione è generalmente assente o minima (5, 6). Sebbene gli esiti a lungo termine siano ancora poco chiari, generalmente si può osservare un lento miglioramento della funzione polmonare durante l'infanzia e poi con l'adolescenza, soprattutto a carico della capacità vitale (FVC), mentre sembra più incerto un progressivo miglioramento dei flussi polmonari.

Nel nostro caso la spirometria eseguita presso la UOC Pneumologia dell'IRCCS Giannina Gaslini di Genova, a distanza di 4 mesi dalla sospensione della terapia corticosteroidea e a distanza di circa 3 mesi dalla precedente spirometria, ha documentato persistente deficit ostruttivo di grado moderato, senza reversibilità, con DLCO e FeNO nei limiti di norma. Stando a quanto riportato in letteratura, il miglioramento con la crescita

delle prove di funzionalità respiratoria è principalmente definito dall'aumento della capacità vitale forzata (FVC) predetta, con percentuali stabili del FEV1, configurando così uno schema di crescita polmonare disanaptico (7, 8), termine che descrive una crescita alterata/asincrona delle componenti dell'albero respiratorio ossia del parenchima polmonare e delle vie aeree. Il pattern di perfusione a mosaico si ritiene che possa essere causato da shunt vascolari multipli, oltre che da un'alternanza di aree ipoventilate e quindi con ridotta perfusione secondaria a vasocostrizione da ipossia tissutale regionale, ed aree con miglior ventilazione e conseguente migliore perfusione. Queste alterazioni dovrebbero essere il motivo principale per cui in questa patologia il parenchima polmonare alla TC appare di densità disomogenea, dato così caratteristico da essere diagnostico per PIBO.

La scintigrafia ventilo-perfusoria (V/Q) può essere utile per comprendere la distribuzione del flusso sanguigno polmonare e diagnosticare la PIBO (9, 10). Anche nel nostro caso è stata eseguita una scintigrafia polmonare perfusoria, che evidenziava una perfusione disomogenea ma nel complesso adeguata a carico del polmone sinistro, mentre contro-lateralmente la diffusione appariva non solo disomogenea ma, nel complesso, marcatamente ridotta: reperto compatibile con pregresso danno parenchimale.

Nella nostra paziente la prima TC torace ad alta risoluzione (HRCT) eseguita nel maggio 2025, aveva documentato un parenchima polmonare a densità disomogenea bilateralmente, già suggestiva per malattia delle piccole vie aeree. A questo si associavano però anche plurimi e diffusi sfumati noduli centro lobulari con aspetto ad "albero in fiore", in particolare a carico del lobo medio e del lobo inferiore dx con diffuso ispessimento delle pareti dei bronchi e bronchiectasie più evidenti a livello della piramide basale di destra, nonché tenui aree con aspetto a "vetro smerigliato" in parte confluenti. Questo quadro TC appariva meritevole di rivalutazione a distanza, anche in considerazione del fatto che alcune delle alterazioni sovra descritte potevano essere dovute al recente episodio intercorrente e non alla patologia di base. Infatti, la successiva TC del torace, eseguita a distanza di circa 7 mesi dalla precedente (maggio – dicembre), documentava una scomparsa delle immagini suggestive per stato infiammatorio acuto in atto (in particolare degli sfumati noduli centro lobulari con aspetto ad "albero in fiore") così che appariva più chiaro un danno parenchimale consolidato con pattern di perfusione a mosaico e conseguente densità parenchimale disomogenea, conside-

rati caratteri distintivi della PIBO. Si sottolinea inoltre, sia all'esame TC eseguito nel maggio sia in quello del dicembre 2025, la presenza e la persistenza di bronchiectasie bi-basali, maggiormente rappresentate a livello della piramide basale destra. Tale reperto ha rivestito un ruolo determinante nell'orientare l'interpretazione diagnostica, suggerendo che il danno parenchimale riconducibile a PIBO fosse nettamente antecedente all'infezione da adenovirus documentata nel maggio 2025. Le bronchiectasie, infatti, configurandosi come alterazioni strutturali croniche della parete bronchiale, richiedono tempi prolungati, generalmente di anni, per il loro sviluppo; esse risultano pertanto preesistenti rispetto all'esecuzione della TC in fase subacuta di infezione adenovirale. Quest'ultima va quindi interpretata come un episodio di riaccutizzazione di una patologia di base già in atto, la PIBO, i cui meccanismi eziopatogenetici verosimilmente si erano instaurati entro il primo anno di vita. Tutte le caratteristiche radiologiche identificate nel nostro caso sono inoltre coerenti con la maggior parte dei casi di PIBO descritti con prevalenza di bronchiectasie (96%), intrappolamento aereo (92%), perfusione a mosaico (88%), ispessimento della parete bronchiale (78%), atelettasia (66%) e ostruzione mucosa (58%) (11, 12). L'ispessimento della parete bronchiale e bronchiolare può essere considerato un marker radiologico che indica un processo infiammatorio acuto o cronico a carico dei bronchioli, come recentemente dimostrato da uno studio osservazionale, che ha identificato pazienti con ispessimento della parete bronchiale come responsivi ai cicli di metilprednisolone (13).

In accordo con le raccomandazioni dell'European Respiratory Society (ERS), durante la fase di riaccutizzazione della malattia in corso di (re)infezione da adenovirus veniva eseguita una broncoscopia con BAL, che consentiva di escludere la presenza di anomalie anatomiche strutturali e/o dinamiche, nonché di valutare l'eventuale presenza di agenti infettivi. L'esame citologico del BAL evidenziava un quadro di alveolite neutrofila (59%, valori normali 1–3%), in assenza di infezione batterica associata, in linea con i dati riportati in letteratura. Tali reperti risultavano pertanto compatibili con un processo infiammatorio acuto correlato all'infezione virale in atto, riconosciuta come elemento cruciale nello sviluppo della PIBO o nella sua riaccutizzazione (4). Un trattamento comunemente utilizzato per forme di bronchiolite obliterante non da infezione da adenovirus, ma conseguente a trapianto di cellule staminali ematopoietiche (HSCT) è la tripla terapia, nota come regime FAM: fluticasone inalatorio+azitromicina+montelukast. Questo

regime viene talvolta utilizzato anche per la PIBO. Gli studi randomizzati che valutano la sua efficacia nella BO post-HSCT sono ancora carenti, in quanto è disponibile solo uno studio di fase 2 (14), e non ci sono dati riportati sull'uso del regime FAM nella PIBO da pneumovirus. Un approccio simile è stato recentemente proposto, chiamato BAMA (budesonide, azitromicina, montelukast e acetilcisteina), ma è disponibile solo uno studio di follow-up su questo regime, che ha riportato miglioramenti nel 70% circa dei casi (15). In letteratura molte famiglie hanno riportato miglioramenti nella rimozione delle secrezioni (16), tuttavia questo aspetto dovrebbe essere valutato attentamente, poiché non esistono dati pubblicati sull'efficacia della fisioterapia nella PIBO. Anche nel nostro caso, considerati i reperti TC ed il dato di alveolite neutrofila riscontrato dal BAL eseguito durante la broncoscopia dell'aprile 2025, in fase di riaccutizzazione della malattia di base da infezione da adenovirus, veniva avviato trattamento steroideo per via orale con prednisone a 2mg/Kg/die proseguito con programma di tapering fino all'agosto 2025, associata ad azitromicina a lungo termine, montelukast e per via inalatoria associazione di fluticasone/salmeterolo.

Anche alla dimissione nel dicembre dalla Pneumologia dell'IRCCS Giannina Gaslini di Genova, a supporto della necessità di proseguire con la terapia antinfiammatoria a livello polmonare, veniva prescritta associazione budesonide/formoterolo 80/2,5 spray: 2 puff per due volte al dì, quindi fisioterapia respiratoria con *device* a pressione positiva come la PEP mask come terapia di mantenimento.

CONCLUSIONI

La strategia terapeutica e gli strumenti diagnostici della PIBO mancano di standardizzazione. L'HRCT e le scansioni V/Q sono strumenti di *imaging* importanti nella diagnosi e nel follow-up della PIBO. Comprendere meglio le presentazioni radiologiche e le scelte terapeutiche praticabili della PIBO porterà a un miglioramento della gestione e conseguentemente dell'*outcome* della patologia.

CONFORMITÀ ALLE NORME ETICHE

Conflitti di interessi

Gli Autori dichiarano l'assenza di conflitti di interessi.

Finanziamenti

Gli autori dichiarano di non avere conflitti di interesse in relazione al presente manoscritto. Dichiarano, inol-

tre, di non aver ricevuto finanziamenti o fondi per la stesura del lavoro.

Disponibilità dei dati

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

Conformità etica nella sperimentazione su soggetti umani e animali

Non applicabile.

Dichiarazione di originalità e integrità scientifica

Il manoscritto è originale e scientificamente integro, e pertanto non sussistono elementi di plagio.

Contributo degli autori

Concettualizzazione: AD, OS, SL; metodologia: MD, MT, PE; ricerca in letteratura: PE, MD, MT; scrittura-preparazione della bozza: AD, OS, AF; scrittura revisione e editing: OS, SL, GP; supervisione: OS. Tutti gli autori hanno letto e approvato la corrente versione del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

1. Traunero A, Ghirardo S, Aldeco M, Pascolo P, Basilicata S, Mazzari L, et al. Outbreak of post-infectious bronchiolitis obliterans after adenovirus infection: a case series and review of the literature. *Pediatr Pulmonol*. 2025;60:e71080. doi:10.1002/ppul.71080.
2. Colom AJ. Risk factors for the development of bronchiolitis obliterans in children with bronchiolitis. *Thorax*. 2006;61(6):503-6. doi:10.1136/thx.2005.044909.
3. Murtagh P, Giubergia V, Viale D, Bauer G, Pena HG. Lower respiratory infections by adenovirus in children: clinical features and risk factors for bronchiolitis obliterans and mortality. *Pediatr Pulmonol*. 2009;44(5):450-6. doi:10.1002/ppul.20984.
4. Cazzato S, Poletti V, Bernardi F, Loroni L, Bertelli L, Colonna S, et al. Airway inflammation and lung function decline in childhood post-infectious bronchiolitis obliterans. *Pediatr Pulmonol*. 2008;43(4):381-90. doi:10.1002/ppul.20784.
5. Kim CK, Kim SW, Kim JS, et al. Bronchiolitis obliterans in the 1990s in Korea and the United States. *Chest*. 2001;120(4):1101-6. doi:10.1378/chest.120.4.1101.
6. Moonnumakal SP, Fan LL. Bronchiolitis obliterans in children. *Curr Opin Pediatr*. 2008;20(3):272-8. doi:10.1097/MOP.0b013e3282ff62e9.
7. Jerkic SP, Koc-Günel S, Herrmann E, et al. Long-term course of bronchial inflammation and pulmonary function testing in children with postinfectious bronchiolitis obliterans. *Pediatr Pulmonol*. 2021;56(9):2966-72. doi:10.1002/ppul.25547.
8. Mosquera RA, Hashmi SS, Pacheco SE, Reverdin A, Chevallier J, Colasurdo GN. Dysanaptic growth of lung and airway in children with post-infectious bronchiolitis obliterans. *Clin Respir J*. 2014;8(1):63-71. doi:10.1111/crj.12037.
9. Hasegawa Y, Imaizumi K, Sekido Y, Iinuma Y, Kawabe T, Hashimoto N, et al. Perfusion and ventilation isotope lung scans in constrictive bronchiolitis obliterans: a series of three cases. *Respiration*. 2002;69:550-5. doi:10.1159/000066464.
10. Nakashima M, Shinya T, Oto T, Okawa T, Takeda Y. Diagnostic value of ventilation/perfusion single-photon emission computed tomography/computed tomography for bronchiolitis obliterans syndrome after lung transplantation. *Nucl Med Commun*. 2019;40:703-10. doi:10.1097/MNM.0000000000001021.
11. Lino CA, Batista AK, Soares MA, de Freitas AE, Gomes LC, JH MF, et al. Bronchiolitis obliterans: clinical and radiological profile of children followed-up in a reference outpatient clinic. *Rev Paul Pediatr*. 2013;31:10-6. doi:10.1590/S0103-05822013000100003.
12. Fischer GB, Sarria EE, Mattiello R, Mocelin HT, Castro-Rodriguez JA. Post-infectious bronchiolitis obliterans in children. *Paediatr Respir Rev*. 2010;11(4):233-9. doi:10.1016/j.prrv.2010.07.005.
13. Yoon HM, Lee JS, Hwang JY, et al. Post-infectious bronchiolitis obliterans in children: CT features that predict responsiveness to pulse methylprednisolone. *Br J Radiol*. 2015;88(1049):20140478. doi:10.1259/bjr.20140478.
14. Williams KM, Cheng GS, Pusic I, et al. Fluticasone, azithromycin, and montelukast treatment for new-onset bronchiolitis obliterans syndrome after hematopoietic cell transplantation. *Biol Blood Marrow Transplant*. 2016;22(4):710-6. doi:10.1016/j.bbmt.2015.10.009.
15. Weng T, Lin X, Wang L, Lv J, Dong L. Follow-up on the therapeutic effects of a budesonide, azithromycin, montelukast, and acetylcysteine (BAMA) regimen in children with post-infectious bronchiolitis obliterans. *J Thorac Dis*. 2021;13(8):4775-84. doi:10.21037/jtd-20-3195.
16. Liverani B, Nava S, Polastri M. An integrative review on the positive expiratory pressure bottle therapy for patients with pulmonary diseases. *Physiother Res Int*. 2020;25(1):e1823. doi:10.1002/pri.1823.

Dialogo tra la Volpe (Pediatria di Libera Scelta) e il Riccio (Pneumologo)

Percorsi diagnostici utili in pneumologia pediatrica

Navigating diagnostics in pediatric pulmonology

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

* CORRISPONDENZA:

michele.ghezzi@asst-fbf-sacco.it

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

DOI

10.63304/PneumolPediater.2026.07

¹ Dipartimento della donna, del bambino e di chirurgia generale e specialistica, Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli, Napoli, Italia

² Pediatria di Libera Scelta, ASL TO4 Chivasso, Torino, Italia

³ Pediatria di Famiglia. ASST della Valcamonica, Italia

⁴ Ospedale dei Bambini Buzzi, Milano, Italia

⁵ UOC di Pediatria Ospedaliera ad indirizzo Pneumo-Allergologico, AOU Policlinico di Bari, Ospedale Pediatrico Giovanni XXIII, Bari, Italia

1. *L'utilizzo dell'ecografia polmonare in Pronto Soccorso è affidabile?*

L'ecografia polmonare pediatrica (LUS) in Pronto Soccorso rappresenta uno strumento diagnostico affidabile e di crescente rilevanza nella valutazione delle patologie respiratorie acute, seppur strettamente dipendente dal livello di training dell'operatore, che deve conoscerne anche i limiti, quali la mancata identificazione di lesioni che non raggiungono la pleura.

Rispetto alla radiografia del torace, la LUS dimostra una maggiore sensibilità nella diagnosi di versamento pleurico, pneumotorace e consolidamenti subpleurici, oltre a consentire una valutazione dinamica in tempo reale. La metodica permette inoltre l'identificazione precoce di complicanze e il monitoraggio dell'evoluzione clinica senza esposizione a radiazioni ionizzanti. Numerosi studi hanno documentato elevata accuratezza diagnostica della LUS anche nella diagnosi di polmonite e sindromi interstiziali. Tuttavia, l'affidabilità dell'esame rimane strettamente dipendente dal livello di training dell'operatore. Quando eseguita da medici adeguatamente formati, la LUS può eguagliare o superare la radiografia del torace in termini di performance diagnostica. La rapidità di esecuzione e la ripetibilità la rendono particolarmente utile in contesti di emergenza e a risorse limitate. Per queste caratteristiche, l'ecografia polmonare è sempre più raccomandata come esame di prima linea nel Pronto Soccorso pediatrico.

- Pereda MA, Chavez MA, Hooper-Miele CC, Gilman RH, Steinhoff MC, Ellington LE, et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in children: a meta-analysis. *Pediatrics*. 2015;135(4):714-22. doi: 10.1542/peds.2014-2833.
- Amatya Y, Russell FM, Rijal S, Adhikari S, Nti B, House DR. Bedside lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in children presenting to an emergency department in a resource-limited setting. *Int J Emerg Med*. 2023;16(1):2. doi: 10.1186/s12245-022-00474-w.
- Ganesha BS, Anup B, Mahesh K, Narendra SS. Evaluation of Point of Care Ultrasound as a Diagnostic Tool for the Diagnosis of Pneumonia in Emergency Department. *International Journal of Health Sciences and Research*. 2023;13(8):204-9. doi: 10.52403/ijhsr.20230828.

PAROLE CHIAVE

Imaging; prove di funzionalità respiratoria; reflusso gastroesofageo; bambini; pneumologia pediatrica.

KEY WORDS

Imaging; lung function test; MRGE; children; pediatric pulmonology.

2. Quali sono i rischi nel sottoporre un bambino a TC del torace ed esistono delle alternative percorribili?

La tomografia computerizzata (TC) del torace nei bambini comporta rischi relativi all'esposizione a radiazioni ionizzanti, a cui l'organismo pediatrico è particolarmente sensibile per la maggiore radiosensibilità dei tessuti e la lunga aspettativa di vita, con un potenziale aumento del rischio oncologico a lungo termine.

Per questa ragione, in tutte quelle condizioni cliniche dove non è strettamente indicato l'esame, vanno privilegiate le principali alternative diagnostiche, ovvero la radiografia del torace che comporta l'esposizione a un quantitativo di radiazioni significativamente inferiore rispetto alla TC del torace, o l'ecografia polmonare, che offre un'elevata sensibilità per la diagnosi di versamenti pleurici e consolidamenti subpleurici, senza esposizione a radiazioni ionizzanti.

Va sottolineata l'importanza, qualora sia indicata l'esecuzione della TC del torace, di riferirsi a centri con esperienza in ambito pediatrico, in quanto le nuove tecnologie disponibili e i protocolli più recenti hanno consentito di ridurre notevolmente il quantitativo di radiazioni previsto dall'esame.

La risonanza magnetica (MRI), essendo una metodica priva di radiazioni, può risultare una metodica utile e alternativa in alcuni casi.

- Ajmire P, Deshpande V, Haseeb M, Nelanuthala M, Khanna S. Ultrasonography Compared to Computed Tomography in Pediatric Complicated Pneumonia: Beyond Radiation. *Cureus*. 2025;17(1):e77158. doi: 10.7759/cureus.77158.
- Tischendorf P, Beck L, Krähling T. Pediatric Thoracic MRI: Safer, Sharper and Smarter Diagnostics. *Children (Basel)*. 2025;12(11):1576. doi: 10.3390/children12111576.
- Konietzke P, Mueller J, Wuennemann F, Wagner WL, Schenk JP, Alrajab A, et al. The value of chest magnetic resonance imaging compared to chest radiographs with and without additional lung ultrasound in children with complicated pneumonia. *PLoS One*. 2020;15(3):e0230252. doi: 10.1371/journal.pone.0230252.

3. In quali casi è indicata l'esecuzione di una risonanza magnetica (RM) del torace?

La risonanza magnetica (RM) del torace si configura come un esame di *imaging* essenziale nei pazienti pediatrici in cui è richiesto lo studio dettagliato delle strutture toraciche senza esposizione a radiazioni ionizzanti. Tale caratteristica la rende particolarmente utile in popolazioni che richiedono monitoraggio seriale o valutazioni di follow-up a lungo termine.

Le principali indicazioni cliniche della RM toracica in pneumologia pediatrica includono lo studio delle malattie

polmonari croniche, quali la fibrosi cistica e le broncopneumopatie croniche dell'età evolutiva. In questi contesti, la RM consente una valutazione dettagliata delle alterazioni parenchimali, bronchiali e vascolari, permettendo il monitoraggio della progressione di malattia e della risposta al trattamento, con una buona correlazione con i reperti tomografici ad alta risoluzione (HRCT). Un'altra indicazione rilevante è la valutazione delle malformazioni polmonari congenite (es. sequestro polmonare, malformazioni adenomatoidi cistiche), soprattutto nel follow-up postnatale o pre-chirurgico, dove la RM permette una caratterizzazione anatomica accurata senza esposizione radiologica. Analogamente, la RM è utile nello studio delle patologie mediastiniche, in particolare per la caratterizzazione delle masse e per la valutazione dei rapporti con le strutture vascolari e cardiache. Negli ultimi anni, lo sviluppo di sequenze funzionali ha ampliato l'utilizzo della RM nello studio della ventilazione e perfusione polmonare, consentendo una valutazione regionale della funzione respiratoria. Questo approccio risulta particolarmente promettente in patologie come l'asma grave, la fibrosi cistica e la bronchiolite obliterante, dove fornisce informazioni complementari agli esami di funzionalità respiratoria globali. Infine la modalità "real-time" consente acquisizioni ad alta velocità durante respirazione libera, riducendo la necessità di sedazione in bambini piccoli e permettendo valutazioni dinamiche delle strutture toraciche.

Bisogna tuttavia ricordare che la RM presenta sensibilità inferiore rispetto alla TC per il rilevamento di piccole alterazioni parenchimali come noduli di pochi millimetri, tempi di acquisizione relativamente più lunghi e, in molti casi, necessità di cooperazione o sedazione nei pazienti più piccoli. La scelta dell'esame deve essere sempre guidata da un quesito clinico ben definito e dalla disponibilità di sequenze adeguate.

- Hirsch FW, Sorge I, Roth C, Anders R, Frahm J, Voit D, et al. Real-Time MRI of the Chest Wall, Diaphragm, and Lungs in Children. *Pediatr Pulmonol*. 2025;60(6):e71133. doi: 10.1002/ppul.71133.
- Fichera G, Cavaliere A, Causin F, Zuliani Z, Bisogno G, Rea F, et al. Pediatric congenital pulmonary malformations: key findings at imaging. *Clin Transl Imaging*. 2024;12:457-66.

4. In quali casi è utile eseguire una pletismografia?

La pletismografia è un esame di funzionalità respiratoria che consente la valutazione dei volumi polmonari statici e delle resistenze delle vie aeree, fornendo informazioni complementari e non ricavabili dalla sola spirometria. La principale indicazione alla pletismografia è il sospetto di patologia ostruttiva associata ad **air trap-**

ping, come nell'asma persistente o nelle broncopneumopatie croniche dell'età pediatrica. In tali condizioni, la misurazione del volume residuo (RV) e della capacità polmonare totale (TLC) permette di identificare e quantificare l'iperinsufflazione polmonare, anche in presenza di parametri spirometrici relativamente conservati. La pletismografia è inoltre indicata nella valutazione delle malattie restrittive, quali le patologie interstiziali, le malattie neuromuscolari e le deformità della gabbia toracica. La riduzione della TLC consente una distinzione più accurata tra pattern restrittivo e ostruttivo con riduzione forzata dei flussi, migliorando l'accuratezza diagnostica.

Un ulteriore ambito di applicazione è il follow-up delle patologie respiratorie croniche, come la fibrosi cistica e la displasia broncopolmonare. In questi pazienti, la pletismografia consente di monitorare nel tempo le variazioni dei volumi polmonari e delle resistenze, fornendo indicatori precoci di peggioramento funzionale non sempre rilevabili con la spirometria.

Infine, la pletismografia risulta utile nei casi di scarsa collaborazione o risultati spirometrici non interpretabili, poiché alcune misure, come la resistenza delle vie aeree (Raw), sono meno dipendenti dallo sforzo espiratorio massimale.

I limiti dell'esame includono la necessità di collaborazione attiva, che ne riduce l'applicabilità nei bambini più piccoli, e la minore disponibilità rispetto alla spirometria. Pertanto, l'esame dovrebbe essere riservato a casi selezionati, in presenza di un quesito clinico ben definito.

- Perrem L, Gaietto K, Weiner DJ, Rosenfeld M. Advances in Pediatric Lung Function Testing Techniques. Clin Chest Med. 2024;45(3):543-53. doi: 10.1016/j.ccm.2024.03.003.
- Pellegrino GM, Gobbi A, Fantini M, Pellegrino R, Sferazza Papa GF. Lung Function Assessment in Pediatric Asthma: Selecting the Optimal Tests for Clinical and Research Applications. Children (Basel). 2025;12(8):1073. doi: 10.3390/children12081073.

5. In quali casi può essere utile la pH impedenziometria per un pneumologo?

La correlazione tra reflusso gastroesofageo e sintomi respiratori è molto meno frequente in età pediatrica rispetto al paziente adulto. Nei casi in cui sia presente il sospetto clinico è utile accertare la diagnosi con gli esami strumentali.

La pH-impedenziometria può essere pertanto, in casi selezionati, uno strumento utile anche per il pneumologo pediatrico, in particolare in alcuni casi di tosse cronica, laringiti ricorrenti o asma con scarsa risposta alle terapie standard.

Rispetto alla sola pH-metria, la pH-impedenziometria offre il vantaggio di rilevare sia i reflussi acidi sia quelli debolmente acidi o non acidi, che sono più frequenti nei lattanti e nei bambini. Inoltre permette di valutare la relazione temporale tra gli episodi di reflusso e i sintomi respiratori.

I risultati devono sempre essere interpretati nel contesto clinico complessivo e il suo utilizzo è più appropriato all'interno di un approccio multidisciplinare, in collaborazione con il gastroenterologo pediatrico.

- Raza D, Mohiuddin F, Khan MH, Fawad M, Raza SM. Childhood gastroesophageal reflux disease: A comprehensive review of disease, diagnosis, and therapeutic management. World J Clin Pediatr. 2025;14(2):101175. doi: 10.5409/wjcp.v14.i2.10117.
- Rosen R, Vandenplas Y, Singendonk M, Cabana M, Di Lorenzo C, Gottrand F, et al. Pediatric Gastroesophageal Reflux Clinical Practice Guidelines: Joint Recommendations of the North American Society for Pediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition and the European Society for Pediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition. J Pediatr Gastroenterol Nutr. 2018;66(3):516-54. doi: 10.1097/MPG.0000000000001889.

