

## 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**<sup>1,2</sup>, Alberto **Gaeta**<sup>3</sup>, Giovanni Pompeo **Ciccarone**<sup>4,\*</sup>

## \* 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

<sup>1</sup> Scuola di specializzazione in Pediatria – Università "Aldo Moro" di Bari, Bari, Italia

<sup>2</sup> Dipartimento di medicina dell'età evolutiva – U.O.C. Pediatria PO

"San Paolo" di Bari, Bari, Italia

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

<sup>4</sup> 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

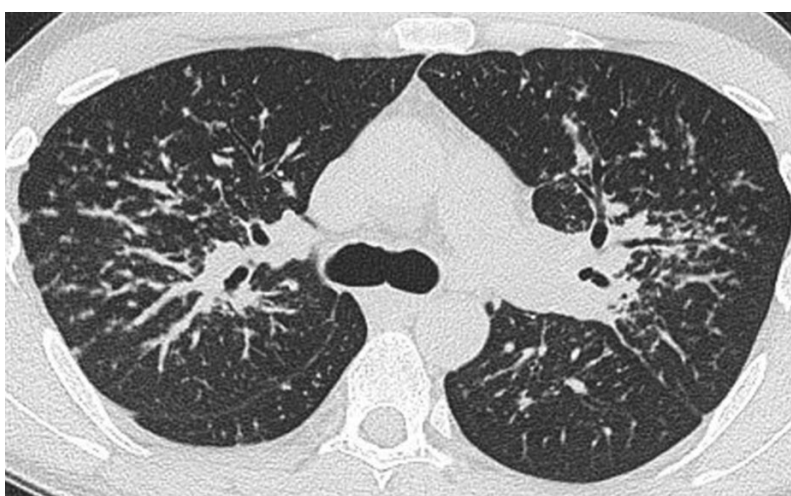
Nelle malattie polmonari interstiziali pediatriche (Children's Interstitial Lung Diseases, ChILD), la tTC ad alta risoluzione (HRCT) consente la diagnosi radiologica di condizioni quali proteinosi alveolare, linfangectasia polmonare, sarcoidosi (**Figura 1**) ed emosiderosi tramite quadri patologici 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.

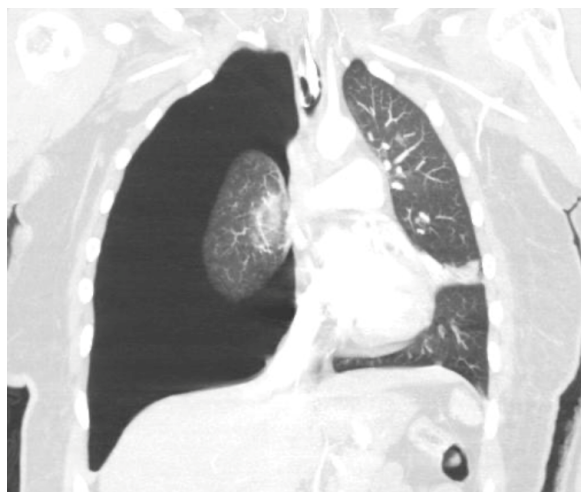
diatrica ed è utilizzata per monitorare la progressione della malattia e guidare la gestione, spesso prima che le anomalie siano rilevate dalla radiografia o dai test di funzionalità polmonare (3, 4); approcci simili si applicano alla discinesia ciliare primaria (DCP), dove l'HR-CT può rivelare bronchiectasie 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.