

Ecografia toracica

Thoracic ultrasound

Alessandro Zanforlin

Servizio Pneumologico Aziendale, Bolzano

Riassunto

L'ecografia è una tecnica di diagnostica per immagini basata sull'interazione degli ultrasuoni con i tessuti biologici, generati e ricevuti da una sonda ed elaborati da un ecografo in un'immagine bidimensionale. Le apparecchiature ecografiche disponibili non sono concepite per lo studio del parenchima polmonare, che per caratteristiche fisiche riflette completamente gli ultrasuoni generando un quadro artefattuale. Tuttavia, la presenza di condizioni patologiche a carico della pleura e del parenchima svela l'organo consentendo uno studio accurato delle alterazioni patologiche superficiali e trovando applicazione nella patologia della parete toracica, della pleura, del parenchima polmonare e nello studio della dinamica diaframmatica, adattandosi a molteplici contesti clinici.

L'evoluzione tecnologica e la miniaturizzazione hanno senz'altro aiutato la metodica a diffondersi capillarmente, complice anche la pandemia COVID-19. Sono attualmente in studio tecnologie di intelligenza artificiale per migliorare la resa diagnostica supportando gli operatori ad interpretare i quadri patologici, anche se la produzione di immagini di buona qualità rimane un limite.

Parole chiave: ecografia, ultrasuoni, patologia polmonare

Summary

Ultrasound is an imaging technique based on the interaction of ultrasound with biological tissues, generated and received by a probe and processed by an ultrasound scanner into a two-dimensional image. Available ultrasound equipment is not designed to study lung parenchyma, which due to its physical characteristics completely reflects the ultrasound, generating an artefactual picture. However, the presence of pathological conditions affecting the pleura and parenchyma unveils the organ, allowing an accurate study of superficial pathological changes and finding application in the pathology of the chest wall, pleura, lung parenchyma and in the study of diaphragmatic dynamics, adapting itself to multiple clinical contexts.

Technological evolution and miniaturization have undoubtedly helped the method to spread widely, also helped by the COVID-19 pandemic. Artificial intelligence technologies are currently being studied to improve the diagnostic yield by supporting operators in interpreting pathological pictures, but the production of images of good quality remains a limit.

Key words: ultrasound, respiratory disease

Come funziona?

L'ecografia è una tecnica di diagnostica per immagini basata sull'interazione degli ultrasuoni con i tessuti biologici.

Gli ultrasuoni sono costituiti da onde meccaniche acustiche (cioè che agiscono facendo vibrare i tessuti) con frequenza superiore a 20 kHz e vengono prodotti da materiali definiti come piezoelettrici, cioè trasformano una differenza di potenziale elettrico in vibrazione e viceversa.

Quando gli ultrasuoni colpiscono un tessuto biologico, vanno incontro a svariati fenomeni:

- assorbimento: una parte dell'energia dell'onda ultrasonora viene assorbita dal tessuto come energia termica e meccanica;
- rifrazione: una quota dell'onda ultrasonora prosegue attraversando il tessuto;

Ricevuto/Received: 08/12/2022
Accettato/Accepted: 30/01/2023

Corrispondenza

Alessandro Zanforlin

Servizio Pneumologico Aziendale, Azienda Sanitaria dell'Alto Adige, piazza Wilhelm-Alexander-Loew-Cadonna 12, Bolzano
alessandro.zanforlin@gmail.com

Conflitto di interessi

L'autore dichiara di non avere nessun conflitto di interesse con l'argomento trattato nell'articolo.

Come citare questo articolo: Zanforlin A.

Ecografia toracica. Rassegna di Patologia dell'Apparato Respiratorio 2022;37:243-246. <https://doi.org/10.36166/2531-4920-662>

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



OPEN ACCESS

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

- c. diffusione: una componente subisce una riflessione in tutte le direzioni;
- d. riflessione: parte dell'onda ultrasonora viene riflessa perpendicolarmente, ritornando alla fonte di trasmissione dell'ultrasuono: è quest'ultima componente che viene utilizzata per la costruzione dell'immagine ecografica.

Pertanto, un fascio di ultrasuoni, per essere utilizzato con finalità diagnostiche, necessita di alcune componenti tecniche:

- un trasduttore che sia in grado di produrre il fascio ultrasonoro e di ricevere la componente di energia riflessa dai tessuti: la sonda ecografica;
- un computer che sia in grado di regolare l'emissione di ultrasuoni da parte della sonda e che sia in grado di elaborare gli impulsi elettrici prodotti dalla sonda in seguito alla ricezione degli ultrasuoni riflessi: l'ecografo.

L'immagine ecografica è costituita da punti sullo schermo (pixel) posizionati nelle due dimensioni (profondità e larghezza), colorati secondo gradazioni di grigio (variabili dal bianco al nero).

La coordinata di larghezza viene determinata dal punto della sonda in cui viene captata la riflessione.

La profondità viene calcolata dall'ecografo in base al tempo intercorso tra l'emissione dell'ultrasuono e la ricezione dell'onda riflessa: maggiore è il ritardo di ricezione, maggiore sarà la profondità dell'oggetto colpito dall'onda ultrasonora.

L'intensità di grigio dipende da quanta energia residua ha l'onda riflessa: più la riflessione è intensa, più l'intensità del punto si avvicinerà al bianco. I punti dello schermo che vengono rappresentati di colore nero, sono punti da cui non arrivano segnali di riflessioni (vuoti acustici).

Poiché l'immagine si forma solo grazie alla quota riflessa di ultrasuoni, è necessario che per visualizzare un determinato organo od oggetto, il fascio di ultrasuoni venga propriamente direzionato perpendicolarmente rispetto ad esso, in modo da massimizzare la quota di onde riflesse.

L'ecografia diagnostica è concepita per studiare ultrasuoni che viaggiano ad una media di 1540 m/s, che è la velocità media degli ultrasuoni nei tessuti molli. La velocità di conduzione degli ultrasuoni da parte di un tessuto è correlata alla sua densità ed alla sua impedenza acustica (l'attitudine di un tessuto a condurre gli ultrasuoni). L'impedenza è uguale al prodotto della densità per la velocità di conduzione.

I tessuti con densità ed impedenza molto basse o molto elevate conducono gli ultrasuoni con velocità che non sono leggibili dai nostri ecografi, pertanto quando un ultrasuono subisce un brusco cambio di impedenza da

un tessuto ad un altro (cioè passando da un tessuto meno denso ad uno molto più denso, es. dal muscolo all'osso, oppure passando da un tessuto denso ad uno molto meno denso, ad es. dal muscolo al polmone), subisce una elevata riflessione generando una *interfaccia*, cioè una linea di confine tra due tessuti, che sarà tanto più intensa (bianca sullo schermo dell'ecografo), quanto più ampia sarà la differenza di densità tra i due tessuti. Maggiore è la quota di ultrasuono riflesso, minore sarà quella di ultrasuono rifratto, pertanto, in caso di completa riflessione, il tessuto sottostante non sarà attraversato da alcuna onda ultrasonora (e quindi non sarà accessibile per i nostri fini diagnostici). Nel particolare caso del polmone, al di sotto dell'interfaccia parete toracica-polmone, a tutti nota come *linea pleurica*, si viene a creare un *pattern* di artefatti, ovvero false immagini generate dall'ecografo che legge i segnali ripetuti di riflessione che arrivano dalla linea pleurica. Proprio la lettura degli artefatti richiede l'intervento attivo dell'operatore, che deve conoscerne il significato e deve inquadrarli nel contesto clinico.

A differenza di altre metodiche diagnostiche che sono in grado di eseguire in modo panoramico anche studi dell'intero corpo umano, l'ecografo e la sonda hanno bisogno di essere indirizzati in modo opportuno verso il target diagnostico; inoltre, le immagini, frutto dell'interazione tra ultrasuoni e tessuti, spesso necessitano di una interpretazione per avere una significatività diagnostica.

Pertanto, sono altri due gli elementi essenziali per fare l'ecografia:

- la mano dell'operatore, che deve saper posizionare la sonda in modo opportuno per visualizzare in modo soddisfacente il bersaglio diagnostico;
- la mente dell'operatore, che deve sapere interpretare correttamente le immagini ecografiche inserendole in un contesto clinico.

Qual è lo stato dell'arte?

Applicazioni cliniche

L'ecografia ha consolidato la sua utilità diagnostica in molte applicazioni in ambito toraco-polmonare ¹⁻⁴.

Ecografia della parete toracica: basata su immagini anatomiche (senza significativi artefatti), permette di studiare la patologia traumatica, infettiva e neoplastica, costituendo anche un'utile guida per le manovre biotiche.

Ecografia della pleura: in condizioni normali la pleura non è visibile in ecografia, ma è sostituita dall'interfaccia tra la parete toracica e il polmone, rappresentando sostanzialmente la superficie polmonare. Tuttavia, quando interessata da processi patologici, questi "svelano" l'organo.

In particolare, per lo studio dei versamenti pleurici l'ecografia è divenuta probabilmente il *gold standard*, essendo in grado di definirli in ogni aspetto ¹:

- localizzazione (versamenti liberi vs saccati);
- aspetto (privo di echi all'interno, echi a concentrazione variabile, tralci di fibrina, aspetto organizzato): la presenza di fibrina permette di identificarne la natura essudativa;
- dimensioni: valutarne l'estensione e l'effetto compressivo sulle altre strutture toraciche;
- reperti collaterali che possono dare informazioni sulla natura del versamento (ad es. polmoniti, noduli).

Molti studi, analizzati in metanalisi ⁵, dimostrano che l'ecografia ha elevata sensibilità e specificità nella diagnosi di pneumotorace, si può quindi dimostrare utile nell'identificazione precoce e nel *follow-up*, mentre è insufficiente a determinarne con precisione l'entità, per cui va integrata con Rx e TC nelle forme più estese.

Gli ispessimenti pleurici sono identificabili e spesso tipizzabili sulla scorta della storia clinica del paziente, è possibile valutare: la presenza di aderenze sul parenchima polmonare; se il polmone scorre liberamente; l'invasività rispetto alle strutture adiacenti nelle forme neoplastiche.

Nella patologia pleurica è di grande utilità il supporto dell'ecografia come guida a toracentesi, biopsie e posizionamento di drenaggi, permettendo una drastica riduzione delle complicazioni ¹.

Ecografia del parenchima polmonare: è possibile esaminare tutto ciò che arriva alla superficie del polmone. Per questo motivo gli utilizzi più consolidati dell'ecografia sono nello studio delle polmoniti, in cui molti studi hanno dimostrato elevate sensibilità e specificità nelle mani di operatori esperti e nella valutazione dell'interessamento polmonare nello scompenso cardiaco.

In generale, l'ecografia permette una valutazione densitometrica del parenchima polmonare superficiale: quando è ben aerato si comporta come uno specchio per gli ultrasuoni, mentre man mano che compaiono disventilazioni (per perdita d'aria o per aumento della componente solida/liquida del polmone) l'immagine artefattuale del polmone si arricchisce di artefatti verticali, generati da "trappole acustiche" superficiali che producono interazioni degli ultrasuoni che vengono lette dall'ecografo come linee verticali. Aumentando il grado di disventilazione, tali artefatti aumentano in numero fino a confluire in quadri di "polmone bianco". Progredendo la perdita d'aria, il polmone si consolida fino ad assumere un aspetto epatizzato e anatomicamente esplorabile ².

Questi *pattern* ecografici vanno sempre valutati integrandoli con i dati clinici, laboratoristici, epidemiologici per essere inquadrati correttamente, in quanto costituiscono spesso immagini aspecifiche.

Nell'ultimo biennio è stata dimostrata l'utilità dell'ecografia nella diagnosi e gestione della polmonite da COVID-19 ^{2,3,6-8}.

Ecografia del diaframma: numerosi studi evidenziano le potenzialità dell'ecografia nello studio dinamico e funzionale del diaframma. In particolare, è possibile valutarne: l'escursione osservando la cupola diaframmatica in scansione sottoepatica, potendo osservare il diaframma come una curva che sale e scende durante gli atti respiratori, potendone misurare l'escursione massima (in genere circa 7-10 cm), permettendo di sospettare quadri di ipomobilità del muscolo quando la misura si dimostri compromessa; la contrattilità, ovvero la variazione di spessore durante gli atti respiratori (ispessito in inspirio e ridotto in spessore in espirio). Il parametro più riproducibile ed utilizzato negli studi è il DeltaTDI, ovvero il rapporto tra la differenza degli spessori inspiratorio ed espiratorio, e lo spessore espiratorio. Tale rapporto, in gran parte degli studi disponibili sembra suggerire una disfunzione diaframmatica quando sia inferiore al 30% ⁹.

Settings applicativi

- Reparto per acuti e pronto soccorso: identificazione precoce delle cause di dispnea e accelerazione del processo diagnostico, monitoraggio clinico quotidiano del paziente con polmonite, scompenso cardiaco.
- Pneumologia interventistica: guida alle procedure invasive (posizionamento di drenaggi, toracentesi, biopsie transtoraciche) e controllo dell'insorgenza di complicazioni dopo le procedure.
- Ambulatorio: integrazione all'esame obiettivo per identificazione precoce di alterazioni pleuroparenchimali ed accelerazione dei processi diagnostici.
- Fisioterapia: monitoraggio della contrattilità e della cinetica diaframmatica e dei muscoli accessori.

Quali sono le prospettive in futuro?

L'evoluzione tecnologica e la miniaturizzazione hanno senz'altro aiutato la metodica a diffondersi capillarmente, complice anche la pandemia COVID-19. La prospettiva futura più auspicabile è che ogni medico possa disporre del proprio ecografo personale per impiegarlo potenzialmente ad ogni visita proprio come già si fa con il fonendoscopio (Fig. 1).

Sono in fase di studio tecnologie di intelligenza artificiale per il riconoscimento di *pattern* ecografici in specifiche patologie (es. polmonite COVID) per supportare l'operatore nelle conclusioni diagnostiche ¹⁰, in particolare in *setting* di telemedicina dove il refertatore si trova

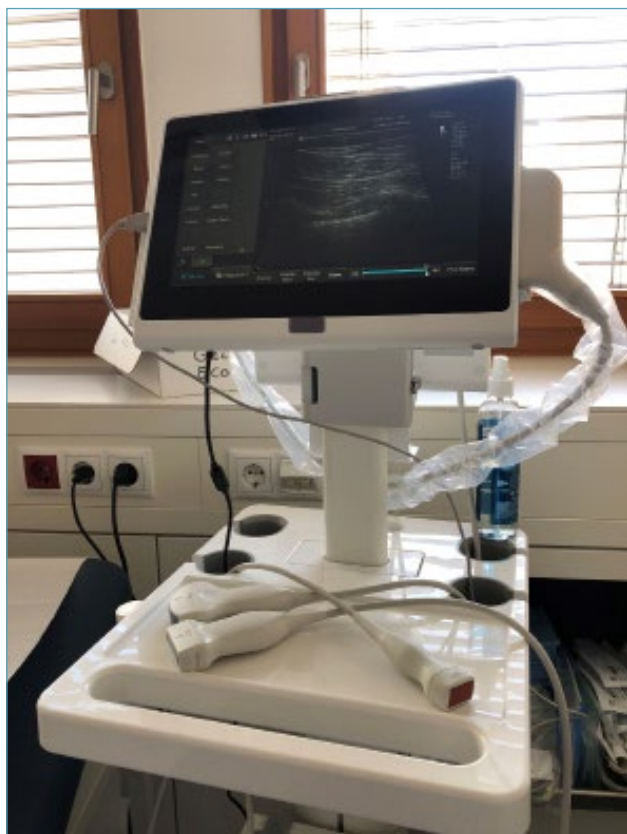


Figura 1. Ecografo portatile carrellato configurato per l'attività clinica pneumologica, con sonda lineare, convex e sector.

a distanza, ma resta comunque il ruolo fondamentale dell'operatore nel realizzare immagini di buona qualità, senza le quali una intelligenza artificiale anche ben addestrata non sarebbe in grado di valutare il quadro patologico in atto.

L'ecografia mantiene comunque i limiti legati all'incapacità di penetrare nel polmone aerato e pertanto sarà auspicabile lo sviluppo di tecnologie ugualmente poco invasive che possano oltrepassare i limiti attuali degli ultrasuoni nello studio dei polmoni.

Bibliografia

- ⁵ Zanforlin A, Giannuzzi R, Nardini S, et al. The role of chest ultrasonography in the management of respiratory diseases: document I. *Multidiscip Respir Med* 2013;8:54. <https://doi.org/10.1186/2049-6958-8-54>
- ⁶ Smargiassi A, Inchingolo R, Soldati G, et al. The role of chest ultrasonography in the management of respiratory diseases: document II. *Multidiscip Respir Med* 2013;8:55. <https://doi.org/10.1186/2049-6958-8-55>
- ⁷ Zanforlin A, Strapazzon G, Falk M, et al. Lung ultrasound in the emergency department for early identification of COVID-19 pneumonia. *Respiration* 2021;100:145-153. <https://doi.org/10.1159/000512782>
- ⁸ Rojatti M, Regli IB, Zanforlin A, et al. Lung ultrasound and respiratory pathophysiology in mechanically ventilated COVID-19 patients-an observational trial. *SN Compr Clin Med* 2020;2:1970-1977. <https://doi.org/10.1007/s42399-020-00536-1>
- ⁹ Alrajhi K, Woo MY, Vaillancourt C. Test characteristics of ultrasonography for the detection of pneumothorax: a systematic review and meta-analysis. *Chest* 2012;141:703-708. <https://doi.org/10.1378/chest.11-0131>
- ¹⁰ Soldati G, Smargiassi A, Perrone T, et al. LUS for COVID-19 pneumonia: flexible or reproducible approach? *J Ultrasound Med* 2022;41:525-526. <https://doi.org/10.1002/jum.15726>
- ¹¹ Mento F, Perrone T, Macioce VN, et al. On the impact of different lung ultrasound imaging protocols in the evaluation of patients affected by coronavirus disease 2019: how many acquisitions are needed? *J Ultrasound Med* 2021;40:2235-2238. <https://doi.org/10.1002/jum.15580>
- ¹² Perrone T, Soldati G, Padovini L, et al. A new lung ultrasound protocol able to predict worsening in patients affected by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 pneumonia. *J Ultrasound Med* 2021;40:1627-1635. <https://doi.org/10.1002/jum.15548>
- ¹³ Boussuges A, Rives S, Finance J, et al. Assessment of diaphragmatic function by ultrasonography: current approach and perspectives. *World J Clin Cases* 2020;8:2408-2424. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v8.i12.2408>
- ¹⁴ Fatima N, Mento F, Zanforlin A, et al. Human-to-AI interrater agreement for lung ultrasound scoring in COVID-19 patients. *J Ultrasound Med* 2022 Jul 7:10.1002/jum.16052. <https://doi.org/10.1002/jum.16052>