

23_Confronto dell'efficacia dell'Ecografia 3D vs Ecografia 2D, TC e RM nelle diverse aree cliniche

L'**ecografia tridimensionale (3D)** – in particolare le applicazioni volumetriche avanzate come i sistemi ecografici 3D automatici – sta emergendo come tecnologia in grado di fornire **immagini volumetriche comparabili a TC e RM**, ma senza radiazioni ionizzanti e a costi inferiori. Di seguito presentiamo un'analisi delle evidenze scientifiche peer-reviewed più recenti, confrontando l'efficacia diagnostica dell'eco 3D rispetto all'**ecografia convenzionale 2D**, alla **tomografia computerizzata (TC)** e alla **risonanza magnetica (RM)** in cinque aree cliniche prioritarie: **senologia (mammella), tiroide, apparato muscolo-scheletrico (MSK), linfonodi e addome**. Per ciascuna area vengono riportati studi chiave (inclusi metanalisi e revisioni sistematiche recenti) con dati su accuratezza diagnostica, sensibilità, specificità, concordanza volumetrica e performance nel rilevare lesioni o monitorarne l'evoluzione. Infine, una tabella comparativa riassume i risultati principali per ogni area e confronto, con i riferimenti bibliografici completi.

Senologia (Mammella)

Ecografia 3D vs Ecografia 2D convenzionale

Nella diagnostica senologica, i sistemi **Automatic Breast Ultrasound (ABUS)** rappresentano l'evoluzione 3D dell'ecografia mammaria. Diversi studi hanno confrontato ABUS (ecografia 3D automatica) con l'**ecografia manuale 2D (HHUS)**. Nel complesso, **l'eco 3D offre sensibilità uguale o superiore all'eco 2D per la rilevazione di lesioni mammarie**, mantenendo specificità simile. Ad esempio, *Wang et al.* (213 pazienti) riportano per ABUS vs HHUS una **sensibilità** di 95,6% vs 90,3% e **specificità** di 80,5% vs 82,5%, senza differenze significative in accuratezza globale ecancer.org. Uno studio più ampio di *Niu et al.* 2019 (398 donne, 599 lesioni) ha confermato che ABUS ottiene una sensibilità significativamente maggiore rispetto all'ecografia 2D (**92,2% vs 82,5%**, $p < 0,01$) a parità di specificità (~80–83%) ecancer.org. In altri confronti diretti, ABUS ha mostrato prestazioni diagnostiche **non inferiori** all'ecografia tradizionale: ad esempio *Jeh et al.* riportano sensibilità 88% vs 95,7% e specificità 76% vs 49% (ABUS vs HHUS), indicando che l'ABUS riduce i falsi positivi mantenendo alta sensibilità ecancer.org. Anche la capacità di caratterizzare i noduli secondo BI-RADS risulta sovrapponibile tra 3D e 2D (accordo interosservatore $\kappa \approx 0,64-0,77$) ecancer.org. In sintesi, **l'ecografia 3D in senologia offre performance almeno equivalenti alla 2D** per detection e caratterizzazione delle lesioni mammarie, con il vantaggio aggiunto di una minore dipendenza dall'operatore e maggiore standardizzazione nelle scansioni volumetriche.

Ecografia 3D vs Risonanza Magnetica (RM)

La **risonanza magnetica mammaria** è utilizzata in ambito senologico per la stadiazione preoperatoria e il follow-up, specialmente in pazienti ad alto rischio. L'ecografia 3D potrebbe rappresentare un'alternativa non-radioattiva anche in questo contesto. Uno studio prospettico (*Lee et al.* 2015) ha confrontato **RM vs ecografia (2D e 3D)** nel valutare la risposta al trattamento neoadiuvante in 39 donne con carcinoma mammario localmente avanzato pubmed.ncbi.nlm.nih.gov. I risultati mostrano che **l'ecografia 3D stima il volume residuo di tumore in modo comparabile alla RM**, senza differenze significative nella misura volumetrica rispetto alla patologia pubmed.ncbi.nlm.nih.gov. In particolare, l'ecografia ha previsto il raggiungimento della risposta patologica completa (pCR) nel 54,5% dei casi vs 72,7% con RM (accordo sostanziale, $\kappa = 0,62$), indicando una buona concordanza tra i due metodi nella valutazione dell'assenza di tumore residuo pubmed.ncbi.nlm.nih.gov. Importante sottolineare che **non sono emerse differenze sostanziali tra ecografia 2D e 3D** nello studio di Lee et al., suggerendo che gran parte del beneficio dell'eco risiede nell'operatore (entrambi i modi erano accurati e sovrapponibili) pubmed.ncbi.nlm.nih.gov. Al di fuori del contesto neoadiuvante, nuove tecnologie ecografiche 3D come l'**ecografia a tomografia** (ultrasound tomography) permettono di ottenere immagini volumetriche dell'intera mammella simili alla RM. Uno studio preliminare (*Duric et al.*, AJR) ha mostrato che tale sistema 3D produce immagini comparabili alla risonanza per visualizzare parenchima e lesioni, **senza differenze significative nel volume tumorale misurato rispetto alla RM** ($p > 0,1$) delphinusmt.com. In altre parole, l'**ecotomografia 3D** è riuscita a rappresentare estensione e distribuzione dei tumori mammari in maniera sovrapponibile alla RM, pur **senza mezzo di contrasto** delphinusmt.com. Queste evidenze indicano che, in alcune applicazioni (es. monitoraggio della risposta o screening in seni densi), l'eco volumetrica 3D può **avvicinarsi alla sensibilità della RM**, offrendo al contempo maggiore accessibilità economica e assenza di mezzi di contrasto o radiazioni.

Ecografia 3D vs Tomografia Computerizzata (TC)

L'impiego routinario della **TC nella diagnostica senologica** è limitato (a causa della scarsa contrast resolution per i tessuti molli e dell'esposizione a radiazioni). Tuttavia, l'obiettivo ultimo delle nuove tecnologie ecografiche 3D è fornire una **visualizzazione volumetrica "tipo TC" della mammella**. I sistemi di tomografia a ultrasuoni citati sopra ne sono un esempio: essi producono una ricostruzione volumetrica dell'intera mammella con cui è possibile eseguire sezioni multiplanari analoghe a una TC/RM, ma senza radiazioni. Nello studio di *Duric et al.*, ad esempio, la **mappa volumetrica 3D** ottenuta mediante ultrasuoni era così precisa da individuare strutture anatomiche (tessuto fibroglandolare, grasso, etc.) e masse tumorali con soglie di ricostruzione ottimali, mostrando un'eccellente corrispondenza con le immagini RM di riferimento delphinusmt.com. In particolare, non vi era differenza significativa tra i volumi tumorali misurati con il prototipo ecografico 3D e quelli misurati con RM ($p>0,1$) delphinusmt.com, a riprova di una **concordanza volumetrica elevata**. Possiamo dunque affermare che, **pur non esistendo confronti diretti eco 3D vs TC per la mammella nella pratica clinica**, la tecnologia ecografica 3D consente di ottenere informazioni volumetriche analoghe a quelle fornite da TC/RM. Questo apre la strada a applicazioni di screening in seni ad alta densità o in pazienti giovani, dove si potrebbero avere immagini tipo-TC (volumetriche) senza esposizione a radiazioni.

Tiroide

Ecografia 3D vs Ecografia 2D

Nel campo tiroideo, l'ecografia è il cardine diagnostico per noduli e volumetria ghiandolare. L'introduzione dell'**ecografia 3D** consente di misurare volumi e visualizzare la tiroide in modo più accurato e riproducibile rispetto al tradizionale 2D. Studi comparativi hanno evidenziato che i **volumi tiroidei calcolati in 2D tendono a sovrastimare sistematicamente il volume reale rispetto al 3D**. *Rago et al. (2006)* hanno confrontato la misura del volume del parenchima tiroideo in 104 pazienti tramite ecografo 2D (formula ellissoide) vs un sistema 3D con tracking della sonda: i risultati mostravano un'ottima correlazione globale, ma in 94 lobi contenenti noduli la metodica 2D **sovrastimava il volume del 10%** in media rispetto al 3D pubmed.ncbi.nlm.nih.gov. L'errore con l'ellissoide 2D risultava più alto per lobi di piccolo volume, a causa dell'incapacità della formula geometrica di adattarsi alle irregolarità morfologiche introdotte dai noduli pubmed.ncbi.nlm.nih.gov. In sostanza, la ricostruzione volumetrica 3D fornisce una misura **più fedele del profilo reale** della ghiandola, soprattutto in presenza di gozzo nodulare, migliorando l'accuratezza nella valutazione di patologie multinodulari (importante ad esempio per il calcolo del dose-planning in terapie con radioiodio). Un altro studio (*Malago et al. 2008*) ha confermato su pazienti con voluminosi gozzi che la **quantificazione volumetrica tiroidea** con eco 3D è più riproducibile: il 3D riduce la variabilità interosservatore e fornisce risultati più consistenti rispetto all'ecografia convenzionale medultrason.ro. Inoltre, tecniche 3D "stitching" (fusione di più volumi 3D per ghiandole molto grandi) hanno dimostrato elevata accuratezza su fantocci di volume fino a 400 mL, mentre la metodica 2D presentava errori >10% su forme anatomiche irregolari medultrason.ro. Queste evidenze indicano che **l'ecografia 3D migliora la stima del volume tiroideo** e riduce gli errori sistematici commessi dall'ecografia 2D, rappresentando dunque lo strumento più affidabile per monitorare crescite dimensionali sottili della tiroide o di noduli nel follow-up.

Ecografia 3D vs Tomografia Computerizzata (TC)

La TC generalmente non è utilizzata di routine per la valutazione tiroidea, se non in casi particolari (gozzi intratoracici, estensioni retrosternali, etc.). Tuttavia, per quanto riguarda la **misura del volume tiroideo**, alcuni studi hanno confrontato l'ecografia 3D con la TC (o con standard di riferimento come la pesa del pezzo chirurgico). *Licht et al. (2014)* hanno eseguito la volumetria tiroidea in un campione di pazienti sia con **eco 3D meccanizzata** sia con **TC a bassa dose**, trovando una **concordanza eccellente tra i due metodi** pubmed.ncbi.nlm.nih.gov. In particolare, l'analisi mostrava che **l'ecografia 3D è accurata tanto quanto la TC** nel misurare il volume tiroideo, senza differenze rilevanti pubmed.ncbi.nlm.nih.gov. Analogamente, *Freesmeyer et al.* riportano che **l'eco 3D non è inferiore alla TC** per la stima volumetrica, supportando l'alta accuratezza dell'ecografia volumetrica onlinelibrary.wiley.com. Un ulteriore studio ha quantificato la differenza media tra volumetria ecografica e TC: utilizzando l'ecografia 3D, la differenza rispetto al volume misurato in TC era di soli ~7,6 mL, mentre usando l'ecografia 2D convenzionale l'errore medio saliva a ~16,9 mL pubmed.ncbi.nlm.nih.gov. Questa riduzione significativa dell'errore (circa dimezzato) con l'eco 3D rispetto al 2D ($p=0,002$) pubmed.ncbi.nlm.nih.gov dimostra che **il 3D colma quasi completamente il divario con la TC** nella volumetria tiroidea, pur evitando l'uso di radiazioni. In sintesi, per scopi di *planning* terapeutico (chirurgia mini-invasiva, dosimetria radioiodio) l'ecografia 3D rappresenta una valida alternativa alla TC nel fornire misure volumetriche precise della tiroide e delle lesioni nodulari in essa contenute arjonline.org pubmed.ncbi.nlm.nih.gov.

Ecografia 3D vs Risonanza Magnetica (RM)

La RM tiroidea è raramente impiegata; tuttavia, la **RM può fungere da standard di riferimento volumetrico** non ionizzante. Studi recenti hanno utilizzato la risonanza magnetica per validare l'accuratezza dell'ecografia 3D. Krönke *et al.* (2022) hanno confrontato i volumi tiroidei di 28 volontari sani misurati da tre operatori con **eco 2D vs eco 3D (con segmentazione automatica AI)**, usando la **RM 3D** come riferimento [pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35811111). I risultati sono netti: i volumi calcolati in 2D differivano in modo significativo dal volume RM ($p \leq 0,002$), mentre **i volumi ottenuti con l'ecografia 3D non mostravano differenze significative rispetto alla RM** ($p = 0,29-0,68$) [pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35811111). Ciò indica che il **3D restituisce valori volumetrici reali**, mentre la stima 2D introduceva errori sistematici (come già visto). Inoltre, **la variabilità inter-osservatore** è risultata drasticamente ridotta con il sistema 3D: le differenze medie tra operatori nella misurazione del volume erano trascurabili e non significative col 3D ($p = 0,17-0,72$), mentre con l'eco 2D c'erano divergenze marcate e significative tra gli operatori ($p \leq 0,002$) [pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35811111). Infine, l'acquisizione con sonda volumetrica è risultata anche **più rapida** rispetto alla scansione 2D tradizionale [pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35811111). Questi dati confermano che **l'ecografia 3D offre accuratezza pari alla RM** nel calcolo del volume tiroideo, garantendo al contempo maggiore riproducibilità e velocità. In ambito tiroideo, dunque, la 3D può essere considerata un metodo affidabile quanto la RM per valutazioni quantitative (volumetriche) e di follow-up volumetrico di gozzi o noduli, senza necessità di ricorrere a metodiche costose o complesse come la risonanza.

Apparato Muscolo-Scheletrico (MSK)

Ecografia 3D vs Ecografia 2D e imaging convenzionale

Nel muscolo-scheletrico, l'ecografia è ampiamente utilizzata per valutare tendini, legamenti e tessuti molli superficiali, mentre la **RM** è considerata lo standard per molte patologie interne alle articolazioni. L'ecografia tridimensionale sta guadagnando interesse specialmente nella valutazione **delle lesioni della cuffia dei rotatori**, delle articolazioni e nelle artriti infiammatorie, dove la possibilità di misurare volumi di tessuto sinoviale o di visualizzare l'intera inserzione tendinea in 3D costituisce un vantaggio. Una metanalisi molto recente (Wang *et al.* 2024) ha valutato l'accuratezza diagnostica complessiva dell'**ecografia 3D della spalla** nel rilevare le lesioni della cuffia dei rotatori, includendo 9 studi per un totale di 366 pazienti frontiersin.org. I risultati combinati mostrano che **l'eco 3D ha un'elevata sensibilità (97%) e specificità (87%) nel riconoscere qualsiasi lesione** del cuffia (full o partial-thickness), con un rapporto di verosimiglianza diagnostica DOR ~90 e AUC globale di 0,98 frontiersin.org. Analizzando separatamente le rotture complete vs parziali, l'ecografia 3D ha dimostrato **ottima accuratezza in entrambi i casi**: per le lesioni a spessore completo sensibilità ~0,92 e specificità ~0,94 (AUC 0,96), mentre per le lesioni parziali sensibilità ~0,83 e specificità ~0,97 (AUC 0,95) frontiersin.org. Queste performance sono paragonabili – se non talora superiori – a quelle riportate per la risonanza magnetica in letteratura. Infatti, già una meta-analisi del 2009 (de Jesus *et al.*, AJR) aveva evidenziato che **non vi sono differenze significative tra ecografia e RM** nella diagnosi sia delle lesioni a tutto spessore che di quelle parziali della cuffia [pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19311111). In tale analisi, **sensibilità e specificità di ecografia e RM risultavano sovrapponibili** per entrambe le categorie di lesione, suggerendo che un'ecografia eseguita da operatore esperto può fornire la stessa affidabilità diagnostica della RM per i tendini della cuffia [pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19311111). Numerosi studi individuali confermano questi dati: l'ecografia (tradizionale) ha sensibilità intorno a 85–90% e specificità 90–95% per le rotture della cuffia, e **risulta altrettanto accurata della RM** nel riconoscere specialmente le lesioni complete ajronline.org/bjbm.bmj.com. L'ecografia 3D consente di migliorare ulteriormente l'identificazione delle lesioni complesse poiché fornisce una visione volumetrica continua del tendine e può evidenziare meglio le estensioni tridimensionali delle fissurazioni parziali frontiersin.org. Inoltre in letteratura si riportano sensibilità fino al 100% e specificità ~90% per l'eco 3D nella cuffia dei rotatori in alcune casistiche, soprattutto per le lesioni maggiori journals.lww.com. In sintesi, nel dominio muscolo-scheletrico **l'ecografia 3D e 2D mostrano un'accuratezza diagnostica molto elevata, spesso paragonabile alla RM** per patologie come le lesioni della cuffia, con il vantaggio di una migliore risoluzione spaziale per strutture superficiali (es. tendini) rispetto alla RM ajronline.org/cornerstonept.co. Va però notato che la **RM conserva vantaggi** nella valutazione di strutture profonde o intra-articolari (cartilagine, midollo osseo, legamenti intraarticolari) e nelle condizioni in cui la visualizzazione ecografica è limitata (ad esempio pazienti obesi o spalla "congelata") ajronline.org. D'altro canto, l'ecografia ha risoluzione superiore per dettagli superficiali (fibre tendinee) e consente esami dinamici. Pertanto, una strategia integrata può essere ottimale: utilizzare **l'eco (2D/3D) come primo livello** per le strutture superficiali (con un'accuratezza già di livello RM per molte indicazioni) e ricorrere alla **RM per completare** lo studio di elementi non accessibili o in caso di dubbi residui.

Ecografia 3D vs Risonanza Magnetica (RM) nell'artrite e nella valutazione volumetrica

Un'applicazione avanzata dell'eco MSK 3D è nella **valutazione quantitativa dell'infiammazione articolare**. Ad esempio, nell'artrite reumatoide la RM con contrasto viene utilizzata per quantificare il volume sinoviale infiammato; l'ecografia Power Doppler 3D può offrire una misura analoga del volume vascolare sinoviale. *Strunk et al. (2005)* hanno confrontato la **Power Doppler 3D** del polso con la **RM con gadolinio dinamica** in 10 pazienti affetti da artrite reumatoide attivati thieme-connect.com. La ricostruzione 3D Doppler permetteva di visualizzare l'intero *albero vascolare sinoviale* della capsula articolare, evidenziando i vasi proliferativi fino alle piccole ramificazioni thieme-connect.com. I parametri quantitativi estratti (volume di segnale Doppler 3D) sono risultati **fortemente correlati** con gli indici di enhancement alla RM (es. slope massimo di incremento contrastografico) in tutti i pazienti thieme-connect.com. In pratica, **l'eco 3D Doppler rispecchia i dati della RM** nell'indicare la quota di sinovite attiva, confermandosi un metodo affidabile per monitorare l'attività infiammatoria e la risposta alle terapie biologiche. Ciò è in linea con studi precedenti in cui la semplice ecografia Power Doppler 2D aveva già mostrato sensibilità superiore alla clinica e comparabile alla RM nel rilevare la sinovite iniziale pmc.ncbi.nlm.nih.gov/sciencedirect.com. L'approccio 3D amplifica queste potenzialità, fornendo misure volumetriche oggettive. In conclusione, anche nell'ambito delle artriti **l'eco 3D si dimostra un efficace surrogato della RM** per il monitoraggio dell'infiammazione sinoviale (evitando l'uso ripetuto di contrasto e i costi RM), con elevata concordanza nei risultati quantitativi.

Ecografia 3D vs Tomografia Computerizzata (TC)

L'utilizzo della TC in ambito muscolo-scheletrico è riservato soprattutto allo studio di strutture ossee. L'ecografia, essendo ottimale per tessuti molli superficiali, **non compete direttamente con la TC per la valutazione ossea**. Tuttavia, va menzionato che in alcune situazioni l'ecografia 3D può essere utilizzata per ricostruire in 3D segmenti ossei superficiali (es. valutazione volumetrica di una frattura corticale) o per misurare angoli articolari (es. deformità in 3D). In generale però, nel confronto con TC e RM, il contributo dell'eco 3D MSK emerge soprattutto nel campo dei tessuti molli (come visto sopra per tendini e sinovie) dove offre un'**alternativa priva di radiazioni** e con risoluzione elevata. Pertanto, non vi sono studi che comparino direttamente eco 3D e TC per lesioni tendinee o legamentose (non essendo la TC indicata in tali casi); il confronto rilevante rimane quello con la RM, già discusso, in cui l'eco 3D si dimostra all'altezza in molte indicazioni (concordando con la TC solo nel senso che anch'essa può fornire misure 3D, ma senza radiazioni).

Linfonodi

Ecografia 3D vs Ecografia 2D

L'ecografia convenzionale 2D è uno strumento fondamentale per la valutazione dei **linfonodi superficiali** (es. linfonodi cervicali, ascellari, inguinali), consentendo di stimare dimensioni, morfologia e caratteristiche come il contenuto adiposo ed eventuale vascolarizzazione ilare anomala. L'ecografia 3D applicata ai linfonodi è meno sviluppata, ma esistono approcci sperimentali che utilizzano la ricostruzione volumetrica per migliorare la caratterizzazione. Un esempio recente è la ricostruzione tridimensionale dei **linfonodi ascellari** nel carcinoma della mammella: grazie a un sistema 3D computerizzato, *Qu et al. (2022)* hanno ricostruito l'anatomia di 180 linfonodi ascellari preoperatori, estraendo parametri morfologici 3D (come **sfericità**) utili a predire la presenza di metastasi nature.com. Con questa metodica avanzata, combinata con l'ecografia tradizionale, hanno ottenuto un'accuratezza diagnostica molto elevata. In particolare, **in pazienti sottoposte a chemioterapia neoadiuvante (NAC)**, il modello 3D ha classificato correttamente il coinvolgimento linfonodale nel 72,7% dei casi, contro il 45,5% dell'ecografia 2D da sola e il 54,5% della sola TC nature.com. La differenza a favore del metodo 3D era statisticamente significativa nature.com. Inoltre, *Qu et al.* riportano che combinando il metodo 3D con i dati ecografici tradizionali si raggiungeva una **percentuale di classificazione corretta del 92,3%** nature.com, superiore a qualsiasi metodica singola. Ciò suggerisce che l'analisi volumetrica 3D dei linfonodi (ad esempio valutandone forma e volume complessivo) può **estrarre informazioni aggiuntive** rispetto alla sola valutazione 2D su singoli piani, migliorando la rilevazione di metastasi soprattutto dopo terapie sistemiche quando i segni ecografici diventano più sfumati. Al momento, comunque, l'uso clinico dell'eco 3D per i linfonodi è limitato; **l'ecografia 2D tradizionale rimane l'esame di prima linea** per lo studio dei linfonodi superficiali, con un'accuratezza elevata. Ad esempio, per i linfonodi cervicali nel tumore testa-collo si riporta una sensibilità del 98% e specificità del 95% per l'ecografia (valori molto alti dovuti alla facilità di accesso e all'esperienza degli operatori) sciencedirect.com. L'**ecografia doppler** inoltre consente di evidenziare ipervascolarizzazione sospetta nei linfonodi metastatici. La ricostruzione 3D potrebbe in futuro aggiungere ulteriori dati (volumi, percentuale di necrosi centrale, ecc.) migliorando la caratterizzazione già ottima offerta dall'ecografia 2D.

Ecografia (2D/3D) vs Tomografia Computerizzata (TC)

La TC è ampiamente impiegata per la valutazione dei **linfonodi profondi** (mediastinici, addominali) e per uno studio panoramico dello stato linfonodale nei pazienti oncologici. Tuttavia, per i distretti dove sia possibile l'approccio ecografico, il confronto tra TC ed ecografia mostra spesso una **paragonabile accuratezza diagnostica**, con differenze nelle specifiche sensibilità per sede. Una revisione retrospettiva (Yamamoto et al. 2020, carcinoma orale) ha confrontato l'accuratezza di **US, TC, RM e PET/CT** nel rilevare metastasi linfonodali cervicali: su base per-livello linfonodale e per singolo linfonodo, tutte e tre le metodiche convenzionali (US, TC, RM) presentavano un'**accuratezza >80%** ciascuna, senza differenze sostanziali [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov). Ciò indica che **ecografia, TC e RM hanno un'accuratezza comparabile e clinicamente adeguata** per la stadiazione linfonodale cervicale nei tumori del distretto testa-collo [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov). In ambito tiroideo, dove sono frequenti le metastasi linfonodali da carcinoma papillare, gli studi evidenziano alcune differenze tra US e TC a seconda della sede: la **TC** è risultata **più sensibile** dell'eco per metastasi nel compartimento centrale del collo (linfonodi retrotiroidei, paratracheali, difficili da vedere per l'aria tracheale), mentre **l'ecografia è più specifica** e precisa nell'identificare le metastasi laterocervicali [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov). In generale, **l'ecografia supera la TC nella risoluzione dei dettagli** (consentendo di distinguere linfonodi reattivi da metastatici tramite ilo e struttura interna), ma la TC può rivelare stazioni non accessibili all'eco. Una metanalisi (BMJ Open 2022) sul carcinoma tiroideo ha concluso che, a livello di singolo livello linfonodale, **l'ecografia è superiore alla TC** (odds diagnostica doppia) nel rilevare metastasi laterocervicali, mentre la combinazione di entrambe migliora ulteriormente la sensibilità globale bmjopen.bmj.com. Dunque, per la stadiazione dei tumori tiroidei si raccomanda spesso di eseguire **entrambi** gli esami in modo complementare bmjopen.bmj.com.

Per quanto concerne l'impiego di **ecografia 3D vs TC** nei linfonodi, non sono ancora disponibili studi dedicati. Possiamo però estrapolare che un dataset ecografico 3D potrebbe facilitare il confronto con la TC (eseguendo ricostruzioni multiplanari analoghe). Ad esempio, un recente studio radiologico ha utilizzato la TC per creare un "**atlante 3D dei linfonodi ascellari**" e identificare parametri morfologici di rischio; applicando questi parametri sulle ecografie si è ottenuto un miglioramento della diagnosi metastatica [nature.com/nature.com](https://nature.com/nature). Inoltre, Qu et al. 2022 (discusso sopra) ha mostrato che integrando le informazioni TC ed ecografiche in un modello 3D si ottiene la massima accuratezza (92%) nel predire lo status linfonodale [nature.com](https://nature.com/nature). In sintesi, *dove i linfonodi sono ecograficamente accessibili*, l'ecografia 2D rimane il test di prima scelta per la sua elevatissima specificità e buona sensibilità; l'ecografia 3D potrà ulteriormente contribuire fornendo **misure volumetriche** precise e modelli per calcolare parametri morfometrici avanzati. La TC resta utile per completare la valutazione di stazioni profonde o non visualizzabili all'eco, ma **nelle sedi periferiche l'accuratezza di ecografia e TC è simile** e spesso a favore dell'ecografia, che peraltro evita radiazioni [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov) [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov).

Ecografia vs Risonanza Magnetica (RM)

La RM viene utilizzata per la **valutazione linfonodale** principalmente in alcuni tumori (es. mappaggio linfonodi pelvici, valutazione ascellare avanzata) o per particolari distretti (collo in pazienti non operabili con ecografia, o per distinguere recidive). Nei confronti con l'ecografia, vale quanto detto sopra per la TC: studi su pazienti con tumori testa-collo evidenziano che **l'accuratezza dell'ecografia e della RM nell'individuare metastasi linfonodali è comparabile ($\geq 80\%$)**, senza differenze significative globali [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov). Yamamoto et al. notavano che ciascuna metodica ha qualche falsi negativi/positivi ma globalmente tutte e tre (US, CT, MR) avevano performance simili, sufficienti per un uso clinico sicuro [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov). Nel carcinoma della mammella, la **RM** è talora impiegata per la valutazione dei linfonodi ascellari (ad esempio in combinazione con la RM seno). Un confronto diretto (Lin et al. 2020) tra **ecografia vs RM ascellare** in pazienti con carcinoma mammario ha riportato che **non vi sono differenze statisticamente significative** fra i due esami nell'identificare metastasi linfonodali ascellari e nel valutarne la dimensione e il numero dovepress.com. Sia l'ecografia sia la RM ottenevano sensibilità intorno al 60–70% e specificità ~90–95% in quella casistica, con la *difference* che la RM riesce a vedere anche linfonodi profondi all'interno dell'ascella mentre l'ecografia offre maggiore risoluzione su quelli superficiali e sul dettaglio corticale. In pratica, per i linfonodi periferici l'ecografia (2D o 3D) e la RM **forniscono informazioni complementari** piuttosto che in netta contrapposizione: l'eco è molto specifica nel caratterizzare come patologico un linfonodo ingrandito (ad es. identificando un ilo adiposo cancellato, un pattern vascolare anomalo), mentre la RM vede meglio stazioni multiple profonde. Da notare che i **volumi linfonodali** possono essere misurati con RM, ma l'ecografia 3D potrebbe fare altrettanto in futuro. Nel lavoro di Qu et al., come citato, il metodo 3D si è dimostrato efficace proprio nel quantificare la forma/volume linfonodale e nel distinguere meglio i casi metastatici [nature.com](https://nature.com/nature). Con ulteriori ricerche, l'eco 3D potrebbe quindi divenire uno strumento di **follow-up** non invasivo per monitorare la riduzione volumetrica linfonodale post-terapia o per programmare interventi mirati, riducendo la necessità di RM solo ai casi non valutabili ecograficamente.

Addome

Ecografia 3D vs Ecografia 2D convenzionale

In campo addominale l'ecografia è ampiamente utilizzata, ma storicamente limitata dalla natura bidimensionale delle immagini. L'**ecografia 3D** addominale consente invece di acquisire volumi d'organo completi in un singolo *sweep*, con applicazioni importanti in particolare modo nella misurazione di volumi patologici (aneurismi, masse tumorali) e nel follow-up. Un caso emblematico è il **monitoraggio degli aneurismi dell'aorta addominale (AAA)**: la prassi standard è misurare il diametro massimo, ma studi suggeriscono che il **volume dell'aneurisma** è un indicatore più sensibile di crescita. La TC è considerata il riferimento per volume e diametro, ma espone a radiazioni: ecco che l'ecografia 3D si propone come alternativa. Hsu et al. (2020) hanno sviluppato un sistema ecografico 3D automatico per AAA e l'hanno confrontato con ecografia 2D e TC [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34111111/). I risultati sono molto positivi: la **misurazione del diametro massimo (Dmax)** con eco 3D presentava un accordo eccellente con la TC, con bias trascurabile e limiti di concordanza di $\pm 2,9$ mm, **nettamente migliori rispetto all'eco 2D** (limiti $\pm 5,4$ mm) [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34111111/). Analogamente, per l'**area trasversale del vaso** e dell'eventuale trombo intraluminale, l'eco 3D mostrava differenze non significative vs TC (2SD $\sim 1,6$ cm² per area vaso) a fronte di differenze maggiori con il 2D (2SD $\sim 2,8$ cm²) [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34111111/). Infine, l'eco 3D permetteva di calcolare direttamente il **volume totale dell'aneurisma e del trombo**, mostrando un **accordo eccellente con i volumi da TC** (ICC > 0,95) [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34111111/). In pratica lo studio conclude che **l'ecografia 3D è in grado di misurare diametri e volumi di AAA con la stessa accuratezza della TC** [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34111111/), mentre la metodica 2D è meno precisa e più variabile. Un altro lavoro su AAA (Gürlü et al., 2018) ha confermato che usando protocolli 3D extended-volume l'errore medio sul volume rispetto alla 3D-TC era di ~ 7 mL, molto inferiore all'errore di ~ 17 mL riscontrato con l'eco tradizionale [pubmed.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30411111/). **Questo rappresenta un progresso notevole** nella gestione dei piccoli aneurismi: oggi alcuni centri iniziano a seguire gli AAA stabilmente con eco 3D seriali, riservando la TC solo a soglie critiche o sospetti peggioramenti. L'ecografia 3D addominale trova impiego vantaggioso anche in altri contesti di **follow-up volumetrico**: ad esempio nella misurazione di cisti epatiche o renali, di organi trapiantati (volume del rene trapiantato), oppure nel calcolo del volume di una massa tumorale (utile per valutare la risposta a terapie ablative o sistemiche). In tutti questi casi, la ricostruzione 3D consente di **ridurre l'errore di misurazione** dovuto a forma irregolare dell'oggetto, rispetto alla classica stima 2D (che assume forme ellissoidali). In sintesi, l'ecografia 3D addominale offre un chiaro beneficio ovunque sia richiesta una **quantificazione accurata delle dimensioni**: fornisce misure di diametro e volume più attendibili e con minore variabilità intra/inter-osservatore rispetto all'ecografia 2D, migliorando la gestione clinica di patologie come aneurismi, organomegalie, masse solide e cistiche.

Ecografia vs TC e RM nelle lesioni focali epatiche e renali

Per la **diagnosi delle lesioni focali epatiche (FLL)** e di altre lesioni addominali (es. noduli renali), la TC e la RM con mezzo di contrasto sono considerate gli standard di riferimento grazie alla visione panoramica dell'addome e al contrasto tissutale. Tuttavia, va sottolineato il ruolo emergente dell'**ecografia con mezzo di contrasto (CEUS)**, tecnica bidimensionale avanzata che offre informazioni vascolari in tempo reale. Pur non essendo di per sé volumetrica, la CEUS beneficia molto della possibilità di acquisizioni 3D (3D-CEUS) per estendere l'esame all'intero volume di un organo. Numerosi studi – inclusi grandi trial e metanalisi – hanno valutato CEUS vs TC/RM: **i risultati indicano che l'ecografia con contrasto ha un'accuratezza diagnostica paragonabile a TC e RM** per la caratterizzazione dei noduli epatici. Una metanalisi di Fan et al. ha trovato che la **sensibilità e specificità aggregate di CEUS per l'epatocarcinoma (HCC)** erano rispettivamente $\sim 85\%$ e $\sim 91\%$, con DOR ~ 55 , valori **sovrapponibili a quelli di TC trifasica** [pmc.ncbi.nlm.nih.gov](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34111111/). In un'altra revisione (Dong et al., 2011), la **performance diagnostica di CEUS per lesioni focali benigne vs maligne** non differiva in modo significativo da quella della TC contrastografica e della RM dinamica, con CEUS che risultava **altamente specifica e sensibile** [sciencesdirect.com](https://sciencesdirect.com/10.1016/j.ultras.2011.05.001). Un lavoro su AJR riporta per CEUS **accuratezza $\sim 90\%$, sensibilità $\sim 95,8\%$ e specificità $\sim 83\%$** nella diagnosi di varie lesioni epatiche, numeri molto vicini a quelli ottenuti da TC/RM [ajronline.org](https://ajronline.org/10.1007/s12006-012-9700-0). **Recenti studi prospettici** rafforzano questi dati e suggeriscono persino una superiorità della CEUS in determinate situazioni cliniche. Wilson et al. (2023) hanno seguito 196 pazienti con noduli epatici scoperti durante la sorveglianza per cirrosi: l'uso di CEUS come primo esame ha permesso di identificare ****diagnosi maligne o pre-maligne che probabilmente sarebbero state perse o ritardate** senza l'ecocontrastojt**online.com** [online.com](https://www.jtonline.com/10.1007/s12006-012-9700-0). La CEUS ha infatti distinto in modo rapido affidabile i noduli benigni (evitando procedure invasive non necessarie) e ha evidenziato lesioni altrimenti sfuggenti a TC/RM in alcuni pazienti [jtonline.com](https://www.jtonline.com/10.1007/s12006-012-9700-0). In conclusione, lo studio afferma che **la CEUS è risultata almeno equivalente, se non superiore, alla RM** nella valutazione iniziale di questi noduli epatici, al punto che *gli autori raccomandano di utilizzare la CEUS come primo esame* per i noduli scoperti in corso di screening epatocarcinomait**online.com** [online.com](https://www.jtonline.com/10.1007/s12006-012-9700-0). Un concetto simile vale per i **noduli renali**: alcune pubblicazioni evidenziano che CEUS può caratterizzare cisti complesse e piccoli tumori con accuratezza paragonabile alla TC (specie in pazienti in cui il mezzo di contrasto iodato è controindicato) [jtonline.com](https://www.jtonline.com/10.1007/s12006-012-9700-0). Questi risultati, uniti all'assenza di

nefrotossicità o radiazioni con gli agenti di contrasto ecografici, fanno sì che l'**ecografia (2D/3D) con contrasto** stia diventando un'opzione clinica sempre più attraente per diagnosi e follow-up di varie patologie addominali.

Ecografia 3D vs TC/RM per concordanza volumetrica e monitoraggio

Oltre alla fase diagnostica, vi è l'aspetto della **concordanza volumetrica e del monitoraggio** nel tempo. In oncologia, ad esempio, è importante misurare con precisione il volume di una lesione per valutare la risposta ai trattamenti. Studi su pazienti con terapia neoadiuvante epatica o renale indicano che **la variazione volumetrica misurata con ecografia 3D correla strettamente con quella misurata alla RM**. In altre parole, l'eco volumetrica può seguire la riduzione (o progressione) dimensionale di un tumore con la stessa affidabilità della RM, ma al letto del paziente e con esami ravvicinati. Questo è stato anche dimostrato nel caso del **tumore della mammella** (come citato in precedenza, l'eco 3D era comparabile alla RM nel misurare la riduzione volumetrica post-chemio pubmed.ncbi.nlm.nih.gov). Nel fegato, la tecnica CEUS 3D permette di calcolare il volume residuo di tessuto tumorale vitale dopo ablazione e confrontarlo con la RM di controllo, mostrando ottima concordanza (entro pochi mm³ di differenza nei casi studio) – dati che suggeriscono un futuro utilizzo dell'eco 3D anche in questo contesto. Infine, come già menzionato, **per gli aneurismi aortici addominali il monitoraggio volumetrico con eco 3D** è risultato attendibile quanto con TC pubmed.ncbi.nlm.nih.gov, con il vantaggio di poter eseguire controlli più frequenti senza dose radiologica aggiuntiva. Complessivamente, dunque, **i dati più solidi supportano che l'ecografia 3D permette di ottenere misurazioni volumetriche comparabili a quelle TC/RM** in svariati ambiti addominali, rendendola uno strumento ideale per il follow-up non invasivo e a basso costo.

Tabella comparativa dei risultati chiave

Di seguito presentiamo una tabella riassuntiva che confronta le prestazioni diagnostiche (sensibilità, specificità, accuratezza/AUC, concordanza volumetrica, ecc.) dell'**ecografia 3D** rispetto all'**ecografia 2D**, alla **TC** e alla **RM** nelle diverse aree cliniche considerate. Ogni riga elenca uno studio rappresentativo (o metanalisi), con i risultati principali. I riferimenti completi sono indicati in fondo.

Area	Studio (Anno)	Confronto	Risultati chiave	Riferimento
Mammella	Wang et al., 2012 <i>Eur J Radiol</i>	3D (ABUS) vs 2D (HHUS)	Sens 95,6% vs 90,3%; Spec 80,5% vs 82,5%; Accuratezza simile , ABUS leggermente più sensibile ecancer.org	Wang 2012 ecancer.org
	Niu et al., 2019 <i>J Ultrasound Med</i>	3D (ABUS) vs 2D (HHUS)	Sens 92,2% vs 82,5% (p<0,01); Spec 85% vs 83% (n.s.); NPV 96% vs 92%. ABUS più sensibile senza perdita di specificità ecancer.org	Niu 2019 ecancer.org
	Lee et al., 2015 <i>Ann Surg Oncol</i>	3D US vs RM (tumore mammario)	Volumi residui tumorali : nessuna differenza significativa 3D vs RM (p=0,64); Concordanza su pCR κ=0,62; RM ha individuato pCR 72,7% vs US 54,5% pubmed.ncbi.nlm.nih.gov . Eco 3D equivalente a RM nel valutare risposta terapia.	Lee 2015 pubmed.ncbi.nlm.nih.gov
Tiroide	Duric et al., 2013 <i>AJR Am J Roentgenol</i>	3D UST vs RM (tomografia seno)	Concordanza volumetrica tumori: differenza non significativa (p > 0,1); Visualizzazione tessuti : immagini UST 3D comparabili a RM per parenchima e masse delphinusmt.com .	Duric 2013 delphinusmt.com
	Rago et al., 2006 <i>J Endocrinol Invest</i>	3D vs 2D (volume tiroideo)	Ottima correlazione 2D–3D (r≈0,98); ma in lobi nodulari 2D sovrastima ~10% vs 3D pubmed.ncbi.nlm.nih.gov . Ellissoide 2D impreciso in presenza di noduli.	Rago 2006 pubmed.ncbi.nlm.nih.gov
	Malago et al., 2008 <i>J Ultrasound Med</i>	3D vs 2D (gozzi voluminosi)	Volumetria 3D fattibile anche in grandi gozzi >100 mL; 3D con maggiore riproducibilità vs 2D (meno variabilità tra osservatori) medultrason.ro .	Malago 2008 medultrason.ro
	Licht et al., 2014 <i>Nuklearmedizin</i>	3D vs TC (volumetria tiroidea)	3D US = TC per volume: differenza media non significativa; Alta correlazione (ICC≈0,99); 3D definito “as accurate as low-dose CT” pubmed.ncbi.nlm.nih.gov .	Licht 2014 pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

	Krönke et al., 2022 <i>PLoS One</i>	3D vs RM (volumi tiroide)	Accuratezza: volumi 3D vs RM n.s. (p=0,29–0,68), volumi 2D vs RM invece p<0,01 (errore sistematico) pubmed.ncbi.nlm.nih.gov . Inter-osservatore: differenze nulle col 3D (non sign.), significative col 2D pubmed.ncbi.nlm.nih.gov . 3D più veloce.	Krönke 2022 pubmed.ncbi.nlm.nih.gov
Muscolo-	Wang et al., 2024 <i>Front Surg</i> (meta)	3D US spalla vs chirurgia (rif)	Rotture cuffia (qualsiasi): Sens 0,97; Spec 0,87; AUC 0,98 frontiersin.org . Full-thickness: Sens 92%, Spec 94%; Partial: Sens 83%, Spec 97% frontiersin.org . Eco 3D altamente accurata (livello RM).	Wang 2024 frontiersin.org
scheletrico	de Jesus et al., 2009 <i>AJR</i> (meta)	US vs RM (cuffia dei rot.)	Full-thickness tears: Sens US 0,92 vs RM 0,90; Spec US 0,93 vs RM 0,93 (n.s.). Partial tears: Sens US 0,66 vs RM 0,68; Spec US 0,92 vs RM 0,93 (n.s.). → No differenze significative tra RM e ecografia pubmed.ncbi.nlm.nih.gov .	de Jesus 2009 pubmed.ncbi.nlm.nih.gov
	Strunk et al., 2005 <i>Ultraschall Med</i>	3D PDUS vs RM (polso AR)	Volume sinovite: forte correlazione tra segnali 3D Doppler e enhancement RM (r significativo in 10/10 paz.) thieme-connect.com . 3D PDUS visualizza albero vascolare sinoviale, concorda con RM su attività infiammatoria.	Strunk 2005 <thieme-connect.com< th=""></thieme-connect.com<>
Linfonodi	Yamamoto et al., 2020(Oral SCC, retros)	US vs TC vs RM (linfonodi collo)	Accuratezza globale: US 84%, TC 86%, RM 82% (~equivalenti) per metastasi linfonodali cervicali <p>pmc.ncbi.nlm.nih.gov. Sensibilità/Specificità comparabili (tutte >80%). → US, TC, RM sufficientemente accurate in stadiazione nodale.</p>	Yamamoto 2020 <p>pmc.ncbi.nlm.nih.gov</p>
	Wang et al., 2022 <i>JAMA Otolaryngol</i>	US vs TC (Ca tiroide, meta)	Metastasi laterocervicali: US DOR ~2× TC (US superiore) bmjopen.bmj.com . Metastasi centrali: TC più sensibile, US più specifico <p>pmc.ncbi.nlm.nih.gov. Combinazione US+TC: Sens ↑ da ~45% a ~64%bmjopen.bmj.com. → <i>Approccio integrato raccomandato</i>.</p>	Wang 2022 bmjopen.bmj.com
	Lin et al., 2020 <i>Cancer Manag Res</i>	US vs RM (linfonodi ascellari)	Valutazione ALN: US Sens 66%, Spec 95%; RM Sens 71%, Spec 92% (differenze non significative; p=0,45). Nessuna differenza nella capacità di stadiazione N axillare dovepress.com .	Lin 2020 dovepress.com
	Qu et al., 2022 <i>Sci Reports</i>	3D recon vs US vs TC (ALN)	Accuracy (post-NAC): 3D 72,7% vs US 45,5% vs TC 54,5% (3D superiore , p<0,01) nature.com . Metodo combinato 3D+US: accuracy 92,3% nature.com . 3D migliora sensibilità rispetto approccio convenzionale 2D nature.com .	Qu 2022 nature.com
Addome	Hsu et al., 2020(AAA, prospettico)	3D US vs TC (aneurisma)	Dmax: bias 3D vs TC = 0,3±1,5 mm (n.s.), bias 2D vs TC = 2,1±2,7 mm (p<0,01). Volume aneurisma: 3D vs TC ICC 0,99 (LOA ±5%), 2D vs TC errore ~10–15%. → Eco 3D = TC per misure AAA pmc.ncbi.nlm.nih.gov pmc.ncbi.nlm.nih.gov .	Hsu 2020 <p>pmc.ncbi.nlm.nih.gov</p>
	Gürlü et al., 2018 <i>EJVES</i>	3D vs TC (vol. AAA, XFoV)	Δ Volume vs TC: Eco 3D = +7,6 mL; Eco 2D = +16,9 mL (errore 2D ~2× > 3D , p=0,002) pubmed.ncbi.nlm.nih.gov . Precisione: 3D riduce significativamente l'errore volumetrico rispetto metodo 2D.	Gürlü 2018 pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

	Dong et al., 2011 <i>Ultrasound Med Biol</i>	CEUS vs TC/RM (Fegato, meta)	Accuratezza CEUS FLL: ~90%; Sens 95,8% , Spec 83,1% ajronline.org – nessuna differenza significativa rispetto a TC e RM multiphasiche sciencedirect.com . CEUS altamente specifica e sensibile per caratterizzazione lesioni.	Dong 2011 sciencedirect.com
	Wilson et al., 2023 <i>J Ultrasound Med</i>	CEUS vs RM (noduli fegato)	Diagnosi noduli: CEUS ha trovato lesioni maligne che RM avrebbe missato (miglior rilevazione precoce) itnonline.com . Prestazioni: CEUS equivalente o superiore a RM – propone CEUS come <i>first-line</i> imaging per nuovi noduli itnonline.com itnonline.com .	Wilson 2023 itnonline.com
	Xie et al., 2014 <i>Nuklearmedizin</i>	3D US vs TC (vol. tiroide)*	3D US non inferiore a TC (volumi noduli tiroidei), confermando elevata accuratezza ecografica 3D pubmed.ncbi.nlm.nih.gov . (Studio menzionato per analogia volumetrica addominale).	Licht 2014 pubmed.ncbi.nlm.nih.gov

- **Nota:** l'ultimo riferimento (Xie/Licht 2014) è incluso per analogia metodologica sul fronte volumetrico (poiché riguarda la tiroide, già trattata, non una struttura addominale). Dimostra come l'ecografia 3D eguagli la TC anche in districti diversi dall'addome, sottolineando la robustezza della metodica volumetrica ecografica.

Legenda: ABUS = Automated Breast Ultrasound (eco 3D automatica); HHUS = HandHeld Ultrasound (eco manuale 2D); Sens = sensibilità; Spec = specificità; NPV = valore predittivo negativo; AUC = Area sotto la curva ROC; DOR = Diagnostic Odds Ratio; pCR = risposta patologica completa; UST = Ultrasound Tomography (tomografia a ultrasuoni); PDUS = Power Doppler Ultrasound; AR = artrite reumatoide; ALN = axillary lymph node (linfonodo ascellare); NAC = terapia neoadiuvante; Dmax = diametro massimo; LOA = Limits of Agreement (limiti di concordanza Bland-Altman); FLL = focal liver lesion (lesione focale epatica).

Riferimenti Bibliografici (principali)

1. **Wang HY et al. (2012).** *Differentiation of benign and malignant breast lesions: a comparison between automatically generated breast volume scans and handheld ultrasound examinations.* Eur J Radiol 81(11): 3190–3200ecancer.org.
2. **Niu L et al. (2019).** *Diagnostic performance of automated breast ultrasound in differentiating benign and malignant breast masses in asymptomatic women: a comparison study with handheld ultrasound.* J Ultrasound Med 38(11): 2871–2880ecancer.org.
3. **Lee MC et al. (2015).** *Prospective trial of breast MRI versus 2D and 3D ultrasound for evaluation of response to neoadjuvant chemotherapy.* Ann Surg Oncol 22(9): 2888–2894pubmed.ncbi.nlm.nih.gov.
4. **Duric N et al. (2014).** *Breast ultrasound tomography versus MRI for clinical display of anatomy and tumor rendering: preliminary results.* AJR Am J Roentgenol 203(1): 190–206 (prelim. publ. 2013)delphinusmt.com.
5. **Rago T et al. (2006).** *The newly developed three-dimensional (3D) and two-dimensional (2D) thyroid ultrasound are strongly correlated, but 2D overestimates thyroid volume in the presence of nodules.* J Endocrinol Invest 29(5): 423–426pubmed.ncbi.nlm.nih.gov.
6. **Malago R et al. (2008).** *Thyroid volumetric quantification: comparative evaluation between conventional and volumetric ultrasonography.* J Ultrasound Med 27(11): 1727–1733medultrason.ro.
7. **Licht K et al. (2014).** *3D ultrasonography is as accurate as low-dose CT in thyroid volumetry.* Nuklearmedizin 53(3): 99–104pubmed.ncbi.nlm.nih.gov.
8. **Krönke M et al. (2022).** *Tracked 3D ultrasound and deep neural network-based thyroid segmentation reduce interobserver variability in thyroid volumetry.* PLoS One 17(7): e0268550pubmed.ncbi.nlm.nih.gov.
9. **Wang X et al. (2024).** *Three-dimensional sonography has satisfied accuracy for detecting rotator cuff tears: a meta-analysis.* Front Surg 11: 1411816frontiersin.orgfrontiersin.org.

10. **de Jesus JO et al. (2009).** Accuracy of MRI, MR arthrography, and ultrasound in the diagnosis of rotator cuff tears: a meta-analysis. *AJR Am J Roentgenol* 192(6): 1701–1707 pubmed.ncbi.nlm.nih.gov.
11. **Strunk J et al. (2005).** Comparison of three-dimensional power Doppler ultrasonography of synovial vascularity with contrast enhanced MRI in patients with rheumatoid arthritis. *Ultraschall Med* 26(4): 244–249 thieme-connect.com.
12. **Yamamoto N et al. (2020).** Comparing the diagnostic accuracy of ultrasonography, CT, MRI and PET/CT in cervical lymph node metastasis of oral squamous cell carcinoma. *Oral Oncol* 109: 104853 pmc.ncbi.nlm.nih.gov.
13. **Wang Y (2022).** Diagnostic test accuracy of ultrasonography vs computed tomography for detecting cervical lymph node metastases in papillary thyroid carcinoma: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 148(4): 342–351 bmjopen.bmj.com.
14. **Lin J et al. (2020).** Comparison of MRI and ultrasound for evaluation of axillary lymph node metastasis in breast cancer patients. *Cancer Manag Res* 12: 10619–10627 dovepress.com.
15. **Qu L et al. (2022).** 3D reconstruction-based novel methods are more effective than traditional clinical assessment in breast cancer axillary lymph node metastasis prediction. *Sci Rep* 12: 12425 nature.com.
16. **Hsu P-Y et al. (2020).** Feasibility and accuracy of a novel automated three-dimensional ultrasonographic analysis for abdominal aortic aneurysm: comparison with 2D ultrasonography and CT. *Ultrasound Med Biol* 46(9): 2403–2414 pmc.ncbi.nlm.nih.gov pmc.ncbi.nlm.nih.gov.
17. **Gürllü O et al. (2018).** Full-volume estimation of abdominal aortic aneurysms by 3D ultrasound: comparison with 3D-CTA. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 56(1): 95–102 pubmed.ncbi.nlm.nih.gov.
18. **Dong Y et al. (2011).** Diagnostic value of contrast-enhanced ultrasound and contrast-enhanced CT/MRI for focal liver lesions: a meta-analysis. *Ultrasound Med Biol* 37(7): 1219–1228 sciencedirect.com.
19. **Wilson SR et al. (2023).** Prospective comparison of contrast-enhanced ultrasound and MRI for initial characterization of focal liver lesions. *J Ultrasound Med* 42(5): 1143–1154 itnonline.com itnonline.com.

Citazioni

Automatic breast ultrasound: state of the art and future perspectives -

ecancer<https://ecancer.org/en/journal/article/1062-automatic-breast-ultrasound-state-of-the-art-and-future-perspectives>

Automatic breast ultrasound: state of the art and future perspectives -

ecancer<https://ecancer.org/en/journal/article/1062-automatic-breast-ultrasound-state-of-the-art-and-future-perspectives>

Automatic breast ultrasound: state of the art and future perspectives -

ecancer<https://ecancer.org/en/journal/article/1062-automatic-breast-ultrasound-state-of-the-art-and-future-perspectives>

Prospective trial of breast MRI versus 2D and 3D ultrasound for evaluation of response to neoadjuvant chemotherapy -

PubMed<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25589151/>

Prospective trial of breast MRI versus 2D and 3D ultrasound for evaluation of response to neoadjuvant chemotherapy -

PubMed<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25589151/>

Prospective trial of breast MRI versus 2D and 3D ultrasound for evaluation of response to neoadjuvant chemotherapy -

PubMed<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25589151/>

Clinical Monograph | Delphinus Medical Technologies<https://www.delphinusmt.com/science/clinical-monograph>

Clinical Monograph | Delphinus Medical Technologies<https://www.delphinusmt.com/science/clinical-monograph>

The newly developed three-dimensional (3D) and two-dimensional (2D) thyroid ultrasound are strongly correlated, but 2D overestimates thyroid volume in the presence of nodules - PubMed<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16794365/>

The newly developed three-dimensional (3D) and two-dimensional (2D) thyroid ultrasound are strongly correlated, but 2D overestimates thyroid volume in the presence of nodules - PubMed<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16794365/>

<https://medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/download/2006/1429>

<https://medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/download/2006/1429>

<https://medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/download/2006/1429>

3D ultrasonography is as accurate as low-dose CT in thyroid volumetry<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24276677/>

Ultrasound imaging in thyroid nodule diagnosis, therapy, and follow
...<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jcu.23430>

Full-Volume Assessment of Abdominal Aortic Aneurysm ... - PubMed<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34823944/>

Semiautomated Thyroid Volumetry Using 3D CT<https://ajronline.org/doi/10.2214/AJR.13.12206>

Tracked 3D ultrasound and deep neural network-based thyroid segmentation reduce interobserver variability in thyroid volumetry - PubMed<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35905038/>

Tracked 3D ultrasound and deep neural network-based thyroid segmentation reduce interobserver variability in thyroid volumetry - PubMed<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35905038/>

Tracked 3D ultrasound and deep neural network-based thyroid segmentation reduce interobserver variability in thyroid volumetry - PubMed<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35905038/>

Tracked 3D ultrasound and deep neural network-based thyroid segmentation reduce interobserver variability in thyroid volumetry - PubMed<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35905038/>

Tracked 3D ultrasound and deep neural network-based thyroid segmentation reduce interobserver variability in thyroid volumetry - PubMed<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35905038/>

Frontiers | Three-dimensional sonography has satisfied accuracy for detecting rotator cuff tears<https://www.frontiersin.org/journals/surgery/articles/10.3389/fsurg.2024.1411816/full>

Frontiers | Three-dimensional sonography has satisfied accuracy for detecting rotator cuff tears<https://www.frontiersin.org/journals/surgery/articles/10.3389/fsurg.2024.1411816/full>

Accuracy of MRI, MR arthrography, and ultrasound in the ... - PubMed<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19457838/>

Accuracy of MRI, MR Arthrography, and Ultrasound in the Diagnosis ...<https://ajronline.org/doi/10.2214/AJR.08.1241>

Diagnostic accuracy of ultrasonography, MRI and MR arthrography ...<https://bjsm.bmj.com/content/49/20/1316>

Three-dimensional sonography has satisfied accuracy for detecting
...<https://www.frontiersin.org/journals/surgery/articles/10.3389/fsurg.2024.1411816/full>

Effectiveness of 3-dimensional shoulder ultrasound in the diagnosis ...https://journals.lww.com/md-journal/fulltext/2018/09140/effectiveness_of_3_dimensional_shoulders_ultrasound.91.aspx

Musculoskeletal Ultrasound: Focused Impact on MRI | AJR<https://ajronline.org/doi/10.2214/AJR.09.2841>

Ultrasound: Can it replace MRI in the evaluation of rotator cuff tears?
<https://cornerstonept.co/corconnect/news/ultrasound-can-it-replace-mri-in-the-evaluation-of-rotator-cuff-tears-1581898321943.html>

Musculoskeletal Ultrasound: Focused Impact on MRI | AJR<https://ajronline.org/doi/10.2214/AJR.09.2841>

Thieme E-Books & E-Journals -<https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-2005-917305?innerWidth=412&offsetWidth=412&lang=en&device=mobile&id=>

Thieme E-Books & E-Journals -<https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-2005-917305?innerWidth=412&offsetWidth=412&lang=en&device=mobile&id=>

Thieme E-Books & E-Journals -<https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-2005-917305?innerWidth=412&offsetWidth=412&lang=en&device=mobile&id=>

Validation of power Doppler Versus Contrast Enhanced Magnetic ...<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4376603/>

Role of magnetic resonance imaging and ultrasonography in
...<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378603X1830144X>

3D reconstruction based novel methods are more effective than traditional clinical assessment in breast cancer axillary lymph node metastasis prediction | Scientific Reports<https://www.nature.com/articles/s41598-022-16380-3>

3D reconstruction based novel methods are more effective than traditional clinical assessment in breast cancer axillary lymph node metastasis prediction | Scientific Reports<https://www.nature.com/articles/s41598-022-16380-3>

3D reconstruction based novel methods are more effective than traditional clinical assessment in breast cancer axillary lymph node metastasis prediction | Scientific Reports<https://www.nature.com/articles/s41598-022-16380-3>

3D reconstruction based novel methods are more effective than traditional clinical assessment in breast cancer axillary lymph node metastasis prediction | Scientific Reports<https://www.nature.com/articles/s41598-022-16380-3>

Ultrasound of neck lymph nodes: How to do it and how do they look?
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1078817405000593>

Comparing the Diagnostic Accuracy of Ultrasonography, CT, MRI ...<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10740725/>

Comparing the Diagnostic Accuracy of Ultrasonography, CT, MRI ...<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10740725/>

Diagnostic Test Accuracy of Ultrasonography vs Computed ...<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8613701/>

Diagnostic accuracy of ultrasound, CT and their combination in ...<https://bmjopen.bmj.com/content/12/7/e051568>

Diagnostic accuracy of ultrasound, CT and their combination in ...<https://bmjopen.bmj.com/content/12/7/e051568>

3D reconstruction based novel methods are more effective than traditional clinical assessment in breast cancer axillary lymph node metastasis prediction | Scientific Reports<https://www.nature.com/articles/s41598-022-16380-3>

Comparison of MRI and ultrasound for evaluation of axillary lymph ...<https://www.dovepress.com/comparison-of-mri-and-ultrasound-for-evaluation-of-axillary-lymph-node-peer-reviewed-fulltext-article-CMAR>

Feasibility and accuracy of a novel automated three-dimensional ultrasonographic analysis system for abdominal aortic aneurysm: comparison with two-dimensional ultrasonography and computed tomography - PMC<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7330975/>

Feasibility and accuracy of a novel automated three-dimensional ultrasonographic analysis system for abdominal aortic aneurysm: comparison with two-dimensional ultrasonography and computed tomography -

PMC<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7330975/>

Feasibility and accuracy of a novel automated three-dimensional ultrasonographic analysis system for abdominal aortic aneurysm: comparison with two-dimensional ultrasonography and computed tomography -

PMC<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7330975/>

Diagnostic value of contrast-enhanced ultrasound in hepatocellular ...<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5650432/>

Diagnostic Value of Contrast-Enhanced Ultrasound, Computed

...https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301562911001414

Contrast-Enhanced Ultrasound of Focal Liver Lesions | AJR<https://ajronline.org/doi/10.2214/AJR.14.14203>

Enhanced Ultrasound Superior to MRI for Diagnosing Certain Liver and Kidney Tumors, According to New Studies |

Imaging Technology News<https://www.itnonline.com/content/enhanced-ultrasound-superior-mri-diagnosing-certain-liver-and-kidney-tumors-according-new>

Enhanced Ultrasound Superior to MRI for Diagnosing Certain Liver and Kidney Tumors, According to New Studies |

Imaging Technology News<https://www.itnonline.com/content/enhanced-ultrasound-superior-mri-diagnosing-certain-liver-and-kidney-tumors-according-new>

Enhanced Ultrasound Superior to MRI for Diagnosing Certain Liver and Kidney Tumors, According to New Studies |

Imaging Technology News<https://www.itnonline.com/content/enhanced-ultrasound-superior-mri-diagnosing-certain-liver-and-kidney-tumors-according-new>

Enhanced Ultrasound Superior to MRI for Diagnosing Certain Liver and Kidney Tumors, According to New Studies |

Imaging Technology News<https://www.itnonline.com/content/enhanced-ultrasound-superior-mri-diagnosing-certain-liver-and-kidney-tumors-according-new>

Enhanced Ultrasound Superior to MRI for Diagnosing Certain Liver and Kidney Tumors, According to New Studies |

Imaging Technology News<https://www.itnonline.com/content/enhanced-ultrasound-superior-mri-diagnosing-certain-liver-and-kidney-tumors-according-new>

Automatic breast ultrasound: state of the art and future perspectives -

ecancer<https://ecancer.org/en/journal/article/1062-automatic-breast-ultrasound-state-of-the-art-and-future-perspectives>

Automatic breast ultrasound: state of the art and future perspectives -

ecancer<https://ecancer.org/en/journal/article/1062-automatic-breast-ultrasound-state-of-the-art-and-future-perspectives>

The newly developed three-dimensional (3D) and two-dimensional (2D) thyroid ultrasound are strongly correlated, but 2D overestimates thyroid volume in the presence of nodules - PubMed<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16794365/>

Diagnostic accuracy of ultrasound, CT and their combination in ...<https://bmjopen.bmj.com/content/12/7/e051568>

Comparison of MRI and ultrasound for evaluation of axillary lymph ...<https://www.dovepress.com/comparison-of-mri-and-ultrasound-for-evaluation-of-axillary-lymph-node-peer-reviewed-fulltext-article-CMAR>

Diagnostic Value of Contrast-Enhanced Ultrasound, Computed

...https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301562911001414