

**PHILIPS**Tomografia  
Computerizzata

White paper

**Precise Image**

# Dose minore e migliore qualità dell'immagine con l'IA

## Panoramica

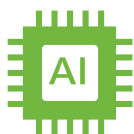
Philips Precise Image è un nuovo approccio sviluppato da Philips che utilizza l'intelligenza artificiale (IA)\* per produrre immagini con un aspetto che rispecchia più da vicino quello di una tipica retroproiezione filtrata, conservando al contempo le funzionalità di riduzione del rumore dei metodi di ricostruzione iterativa avanzati. Si ottengono così immagini di qualità elevata con un aspetto familiare e a bassa dose.

\* Secondo la definizione di IA fornita dall'High-Level Expert Group on Artificial Intelligence dell'Unione europea.

# Informazioni preliminari

La retroproiezione filtrata (FBP) ha rappresentato per decenni lo standard di settore nella ricostruzione delle immagini TC. Nonostante la rapidità che lo caratterizza, l'algoritmo FBP non è la scelta ottimale in caso di dati di campionamento di scarsa qualità o in condizioni in cui il rumore è tale da coprire il segnale delle immagini, come avviene ad esempio con le acquisizioni a bassa dose o se la dose desiderata è superiore a quella supportata dal tubo radiogeno. Nel tempo sono stati apportati gradualmente miglioramenti all'FBP per superare alcune sue limitazioni.

In precedenza, per la ricostruzione iterativa, Philips aveva introdotto un approccio ibrido (iDose<sup>4</sup>) e un approccio model-based (IMR) per poter personalizzare la qualità dell'immagine a bassa dose in base alle esigenze individuali del paziente. Utilizzata insieme alle avanzate tecnologie dei sistemi TC Philips, la ricostruzione iterativa ha fornito un approccio esclusivo per la gestione di fattori importanti nella cura del paziente, quali la possibilità di utilizzare dosi inferiori per l'imaging e il miglioramento della qualità dell'immagine.



I progressi dell'IA permettono ora di passare a tecnologie di riduzione della dose di livello superiore, che uniscono la bassa dose a un aspetto più familiare delle immagini.

Gli algoritmi tradizionali per la ricostruzione iterativa in genere penalizzano in qualche modo le immagini con rumore, avvalendosi di una funzionalità che sfrutta le differenze tra i voxel vicini nell'immagine. Per quanto siano efficaci nel ridurre il rumore, queste funzioni di penalizzazione possono dare luogo a un aspetto dell'immagine o texture del rumore sostanzialmente differenti rispetto alle retroproiezioni filtrate tradizionali a cui molti radiologi sono abituati ormai da anni. L'aspetto inconsueto di queste immagini è una barriera significativa che si frappone all'adozione delle tecnologie di riduzione della dose in una serie di applicazioni cliniche.

Sebbene Philips IMR abbia risolto l'aggravio derivante dall'elaborazione della ricostruzione model-based e i relativi effetti a livello di tempistiche, questo problema ha continuato a essere presente per molti produttori.

Con la ricostruzione basata sul deep-learning, l'IA viene addestrata a fornire rapidamente immagini a basso rumore da scansioni a bassa dose grazie al confronto con immagini a dose convenzionale in processi di apprendimento dell'IA supervisionati. Questa modalità di apprendimento supervisionato consente di ottenere immagini con texture del rumore molto simili a una tipica immagine FBP, pur mantenendo le funzionalità di riduzione del rumore dei metodi di ricostruzione iterativa.



Philips CT 5300

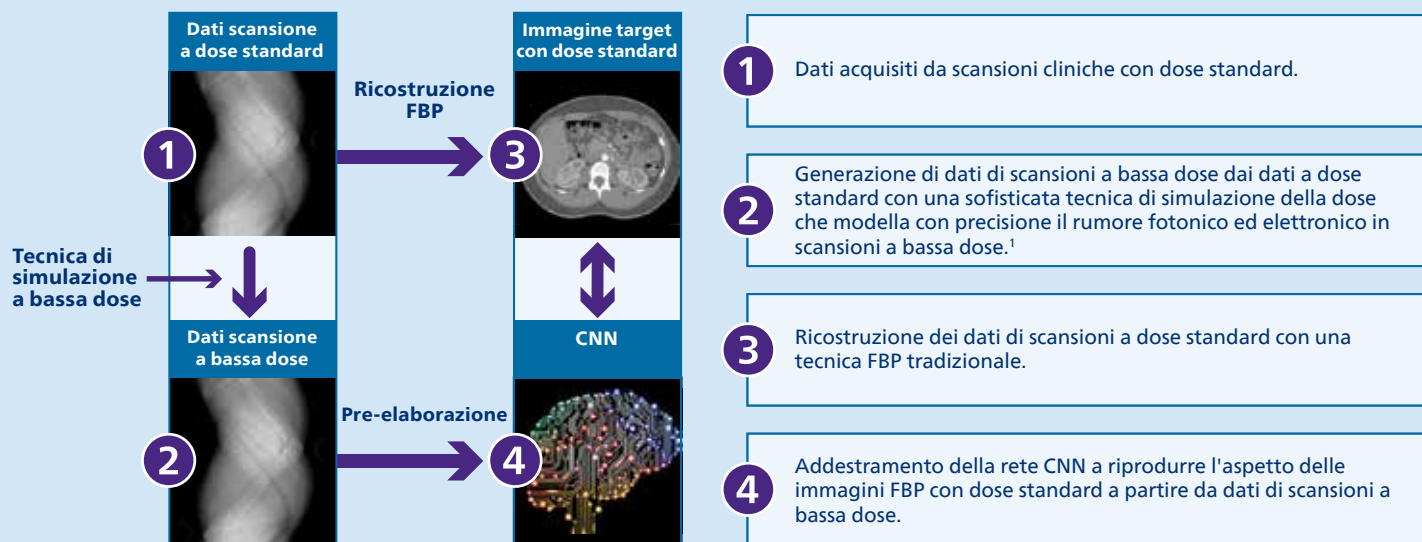
# Flusso di lavoro intelligente per TC Philips

Precise Image è uno dei tanti strumenti basati sull'IA del flusso di lavoro intelligente per TC, in cui l'intelligenza artificiale è profondamente integrata nei sistemi utilizzati dai medici ogni giorno per applicare la propria competenza ai pazienti, non ai processi.



## Come Precise Image addestra le reti neurali

Precise Image segue un processo di apprendimento supervisionato per addestrare in modo specifico una rete neurale convoluzionale (CNN).



**Figura 1** Il processo di addestramento seguito dall'IA di Precise Image per la ricostruzione.

## Caratteristiche del deep learning

Il deep learning è una sottocategoria del machine learning e dell'intelligenza artificiale. Una rete neurale convoluzionale (CNN) è una rete neurale artificiale con neuroni artificiali o nodi disposti in vari livelli tra l'input e l'output della manipolazione matematica. Le reti CNN complesse, come quelle di Precise Image, dispongono di numerosi livelli e della capacità di modellare relazioni non lineari complesse. La struttura di una CNN costituisce la base che le consentirà di raggiungere in modo efficiente gli obiettivi di ottimizzazione prestabiliti. Con Precise Image, le reti sono state progettate per risolvere le sfide specifiche legate alla ricostruzione di immagini e dispongono di un numero di nodi e livelli ottimizzato all'interno della rete, in modo da risolvere le esigenze correlate, sia alla riduzione della latenza, sia alla brevità dei tempi di esecuzione, intervenendo anche su complesse problematiche di ottimizzazione.

## Addestramento della rete neurale

Per quanto una rete CNN ben progettata offra grandi prospettive per la soluzione di problemi di ottimizzazione complessi, è importante sapere che migliore è l'addestramento ricevuto, migliori saranno i risultati. Una strategia di addestramento supervisionata eseguita correttamente prevede la costituzione di un insieme di input e di output in grado di fornire un campionamento sufficiente dello spazio del problema da risolvere. Un approccio ragionato e completo su questo punto è di importanza cruciale per la solidità della rete. Per addestrare le reti neurali di Precise Image, iniziamo da scansioni con dose standard e l'aspetto desiderato delle immagini dal punto di vista clinico. Da qui, vengono poi simulati dati di scansioni a bassa dose in modo da modellare con precisione tanto il rumore fotonico quanto quello elettronico.

Alla rete viene quindi affidato il compito di riprodurre l'aspetto delle immagini con dose standard dall'input a bassa dose. Addestrandole in questo modo, le reti risultano più solide in relazione alla varietà di elementi intrinseca alla TC, derivante da fattori quali la dose di radiazione applicata, la corporatura e l'anatomia del paziente.



Philips Incisive CT

## Convalida della rete neurale

Le reti neurali di Precise Image addestrate vengono convalidate utilizzando i dati paziente ottenuti con vari parametri di scansione su una popolazione diversificata. Philips inizia a fornire come input alle reti neurali dati a bassa dose simulati da scansioni con dose standard. Le immagini a bassa dose che ne derivano vengono confrontate con immagini a dose standard ricostruite utilizzando metodi consueti. Quando la qualità delle immagini a bassa dose di Precise Image soddisfa o supera le normali ricostruzioni con dose standard, l'addestramento della rete neurale viene ritenuto sufficiente.

## Flussi di lavoro clinici veloci con l'inferenza

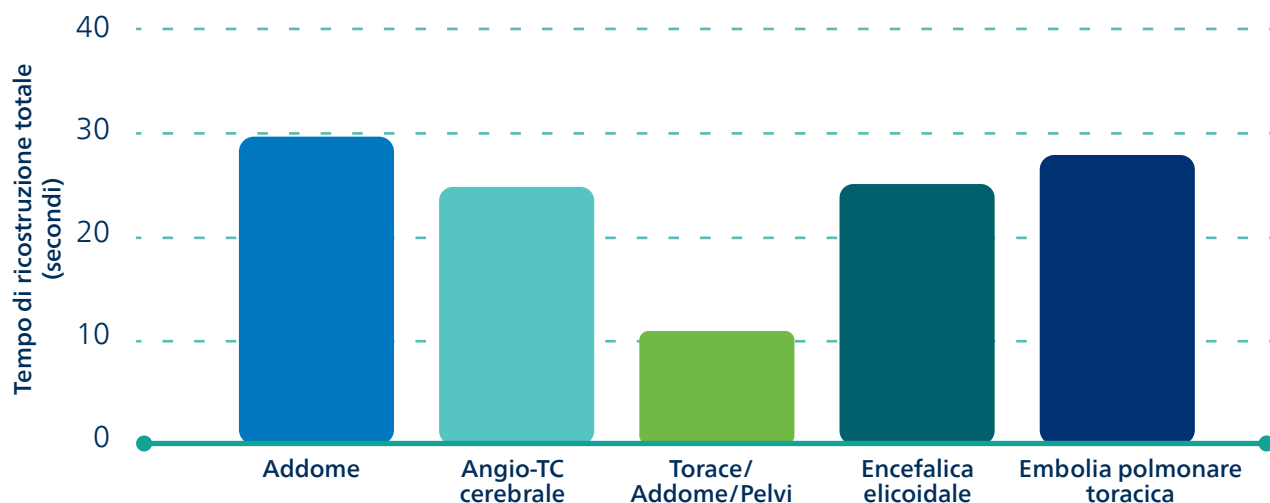
Una volta addestrate le reti, vengono stabiliti i pesi dei nodi e dei livelli della CNN per far sì che i nuovi input in forma di dati paziente possano essere elaborati rapidamente per supportare flussi di lavoro clinici ad alta produttività con l'affidabilità diagnostica migliorata fornita da Precise Image. Partendo dalla progettazione intelligente della rete come base e dal solido addestramento eseguito, Precise Image offre la ricostruzione basata sull'IA più veloce nel settore.

# La ricostruzione basata sull'IA deve essere veloce se la si vuole integrare nella routine quotidiana

Philips Precise Image è una tecnica di ricostruzione basata sull'IA che si avvale della potenza del deep-learning delle reti neurali per aumentare l'affidabilità clinica e conferire alle immagini un aspetto del tutto simile a quello di retroproiezioni filtrate. Con tutti i protocolli di riferimento, la ricostruzione avviene in meno di un minuto.



## Tempi di ricostruzione medi per i protocolli più diffusi



**Figura 2** I tempi di ricostruzione medi di Precise Image per i protocolli più diffusi sono di 30 secondi o meno.

# Prestazioni tecniche e cliniche

Philips Precise Image è stato testato approfonditamente sia su fantocci che su dati clinici. Molte metriche di qualità dell'immagine generali vengono calcolate utilizzando le immagini di fantocci. Precise Image invece utilizza principalmente immagini cliniche nella procedura di addestramento, per garantire che le reti non siano addestrate semplicemente in modo da ottenere buoni risultati sui fantocci che vengono utilizzati per i test delle prestazioni, ma per fornire immagini cliniche migliori. Nonostante ciò, questi vantaggi clinici possono essere misurati con risultati eccellenti anche su fantocci tradizionali, come evidenziato nelle sezioni seguenti.

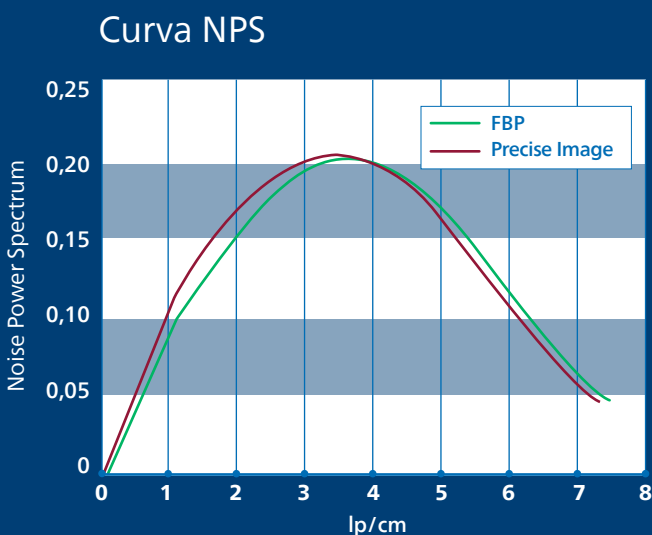
## Noise Power Spectrum

Un difetto comune delle immagini sottoposte a ricostruzione iterativa è che la texture del rumore differisce significativamente dalle immagini FBP. Precise Image è addestrato a riprodurre la texture del rumore della retroproiezione filtrata, fornendo al contempo una significativa riduzione del rumore. Una metrica associata per la quantificazione della texture del rumore è NPS (Noise Power Spectrum). Per questa misurazione, è stata eseguita la scansione di un fantoccio ad acqua di 30 cm a 300 mAs e di nuovo a 100 mAs. Le immagini per Precise Image sono state generate dalla scansione a 100 mAs con una riduzione del rumore incrementale per creare immagini di qualità elevata e con rumore ridotto. È stata quindi calcolata una serie di valori NPS normalizzati

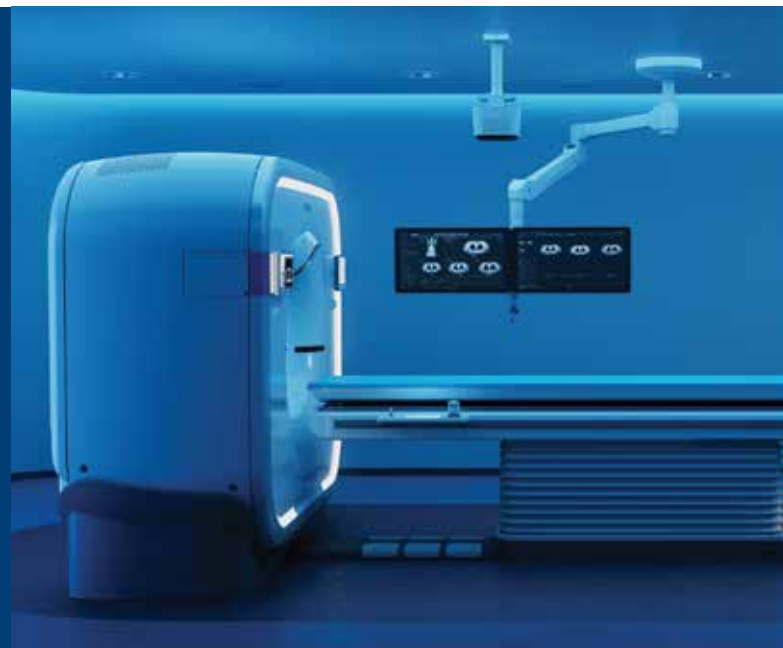
per ciascuna delle immagini destinate a Precise Image, come per l'immagine FBP ad alta dose. Di seguito è riportato un confronto rappresentativo a riprova del fatto che i profili NPS di una ricostruzione Precise Image a bassa dose e di una ricostruzione FBP ad alta dose sono simili (**Figura 3**).

Con Precise Image è possibile mantenere un valore NPS normalizzato pressoché costante, indipendentemente dall'entità della riduzione del rumore, che corrisponda esattamente all'NPS dato dalla ricostruzione FBP. È pertanto possibile personalizzare la texture del rumore in modo che risulti simile a quella delle immagini FBP, anche a basse dosi e con livelli di riduzione del rumore elevati.

## Precise Image offre una ricostruzione basata sull'IA che mantiene l'aspetto tradizionale di una retroproiezione filtrata



**Figura 3** Misurazioni NPS normalizzate di un fantoccio ad acqua di 30 cm.





## Rilevabilità a basso contrasto

Il test della rilevabilità a basso contrasto (LCD) è un metodo consolidato per misurare le funzionalità di riduzione della dose degli algoritmi di ricostruzione. Numerose immagini diverse con rumore vengono mostrate a un osservatore umano o modello, alcune contenenti un oggetto a basso contrasto noto e altre senza, e per ogni immagine l'osservatore deve stabilire se l'oggetto sia presente o meno. Si valuta la correttezza della scelta per ogni immagine con rumore e questi punteggi possono essere utilizzati per ricavare un indice di rilevabilità ( $d'$ ) che rispecchia il dato statistico della corretta individuazione dell'oggetto a una data dose e con un dato metodo di ricostruzione. Un valore di  $d' = 0$  corrisponde a un risultato non migliore della casualità, mentre  $d' = 4,38$  corrisponde a una rilevabilità quasi perfetta.

Per il test LCD di Precise Image sono stati utilizzati il fantoccio a basso contrasto MITA CT 189 e inserto di contrasto a 3 HU dal diametro di 10 mm. L'osservatore modello è un CHO (Channelized Hotelling Observer) con 3 canali DOG, come descritto nello strumento IQmodelo.<sup>2</sup> Utilizziamo 200 coppie di immagini (oggetto presente, oggetto assente) e confrontiamo il valore di  $d'$  della retroproiezione filtrata a una dose di 10 mGy con Precise Image a 2 mGy (80% di riduzione della dose).

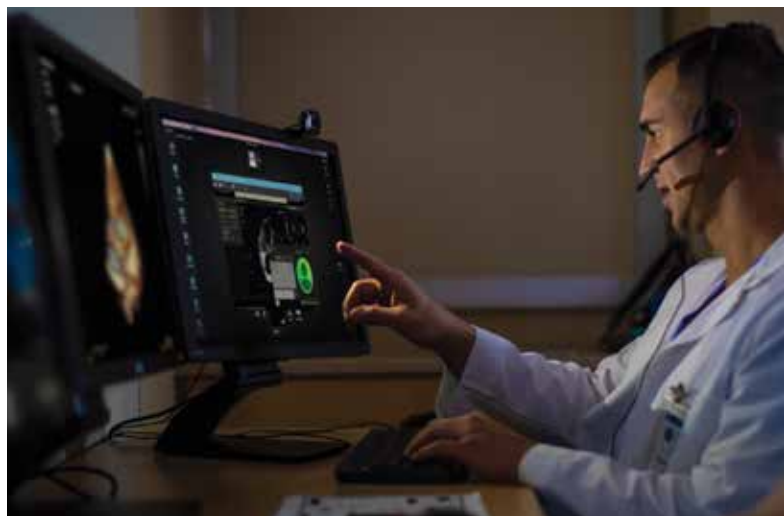
I risultati del test LCD dimostrano che, con Precise Image, la rilevabilità è del 60% migliore rispetto alla retroproiezione filtrata a 10 mGy. Il rumore misurato delle ricostruzioni Precise Image è risultato dell'85% inferiore rispetto a quello delle immagini FBP. Il test dimostra che, con Precise Image, gli utenti possono ottenere sia una significativa riduzione della dose (80%) sia un miglioramento dell'imaging a basso contrasto (miglioramento del 60% nell'LCD e 85% di riduzione del rumore), pur conservando una texture del rumore più tradizionale che con altre tecniche di ricostruzione.\*

\* Nella pratica clinica, l'uso di Precise Image consente di ridurre la dose erogata al paziente sottoposto a TC in base all'attività clinica, alla corporatura del paziente e alla posizione anatomica. È necessario consultare un radiologo e un fisico per definire la dose appropriata per ottenere la qualità dell'immagine diagnostica richiesta per l'attività clinica specifica. Le riduzioni della dose sono state valutate utilizzando protocolli di riferimento per il corpo su sezioni da 1,0 mm con l'impostazione "Smoother" (Più omogenea) e testate sul fantoccio MITA CT IQ (CCT189, The Phantom Laboratory) esaminando l'inserto da 10 mm e confrontando con la retroproiezione filtrata. Si nota un intervallo tra i quattro inserti, utilizzando uno strumento CHO (Channelized Hotelling Observer), con rumore immagine ridotto dell'85% e miglioramento della rilevabilità a basso contrasto da 0%-60% a 50%-80% di riduzione della dose. Per valutare l'aspetto delle immagini è stato utilizzato lo spostamento della curva NPS, in base alla misurazione effettuata su un fantoccio ad acqua di 20 cm al centro della regione di interesse di 50 mm x 50 mm, con uno spostamento medio del 6% o inferiore.

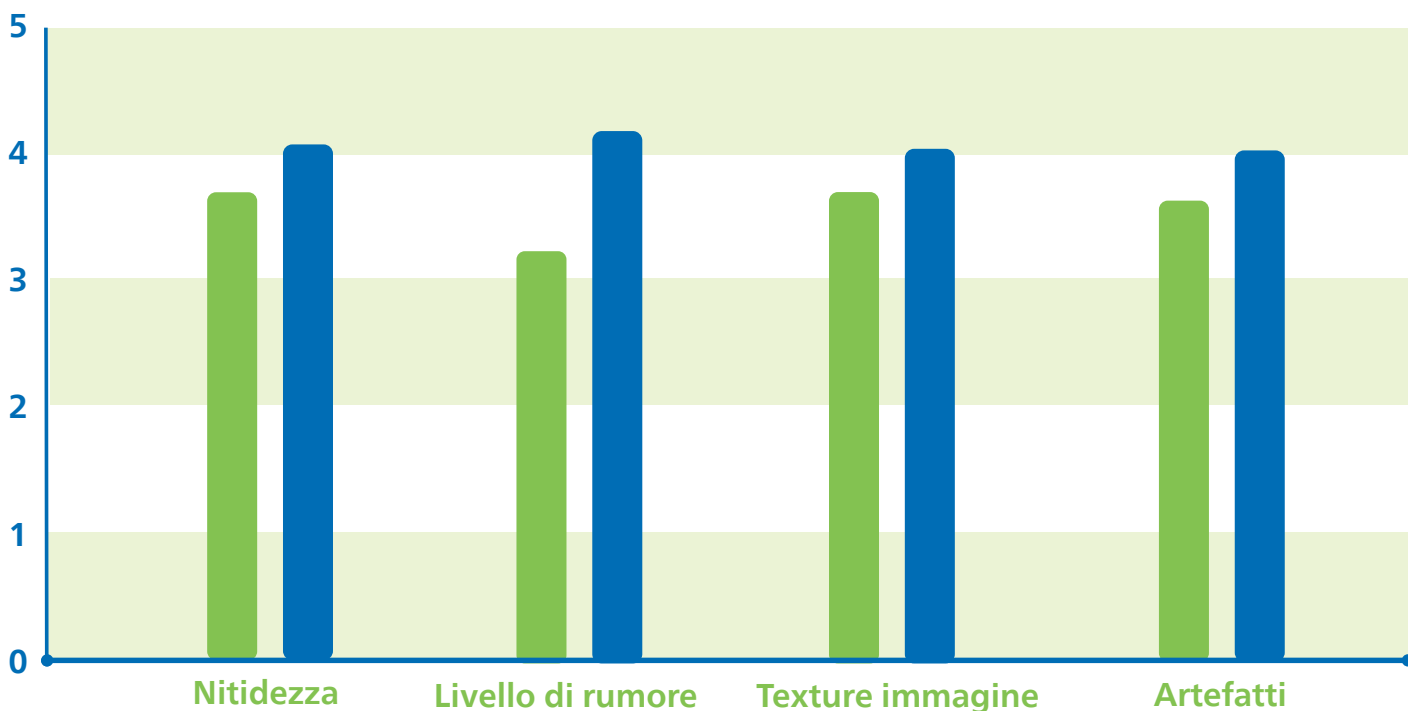
## Riesame clinico

Le immagini di torace, addome e pelvi di 40 pazienti sono state riesaminate in maniera indipendente da un team di radiologi esperti utilizzando iDose<sup>4</sup> e Precise Image. Entrambe le serie di immagini di ogni paziente sono state valutate per affidabilità diagnostica, nitidezza, livello di rumore, texture dell'immagine e artefatti, impiegando la scala Likert a 5 punti, in cui 1 è il peggiore e 5 il migliore. Tutte le scansioni sono state eseguite a livelli di dose standard e le immagini iDose<sup>4</sup> sono state ricostruite alla dose di acquisizione. Le immagini Precise Image sono state ricostruite al 50% della dose di acquisizione standard utilizzando tecniche di simulazione a bassa dose.

Per ognuna delle caratteristiche valutate, sono stati confrontati i punteggi delle due serie di immagini utilizzando il test di Welch con due campioni ( $\alpha=5\%$ ) per verificare eventuali differenze statisticamente significative nei punteggi. I risultati hanno evidenziato un miglioramento in tutte le caratteristiche valutate su immagini Precise Image ricostruite al 50% della dose di acquisizione (Figura 4).



## Precise Image migliora l'affidabilità diagnostica con metà della dose



**Figura 4** I punteggi di qualità delle immagini ricostruite con Precise Image al 50% della dose standard sono risultati più alti di quelli delle immagini iDose<sup>4</sup> ricostruite al 100% della dose standard.

■ iDose<sup>4</sup> ■ Precise Image al 50% della dose

# Valutazione indipendente

## Dimostrazione della potenziale riduzione della dose in fantocci geometrici e antropomorfi standard

Tre pubblicazioni convalidate da esperti<sup>3,4,5</sup> hanno valutato l'influenza di Precise Image sulla qualità dell'immagine a dosi ridotte rispetto a iDose<sup>4</sup>. Ogni studio verteva su un diverso distretto corporeo e ha applicato valutazioni di qualità delle immagini, sia soggettive, sia basate su attività per le scansioni dei fantocci eseguite a vari livelli di dose. Nelle valutazioni basate su attività, le funzioni delle attività definite valutate con fantocci geometrici erano:

- Torace (lesioni di 5 mm): visione di noduli nel tessuto molle a basso contrasto all'interno del mediastino, opacità a vetro smerigliato e lesioni polmonari a contrasto elevato
- Addome (lesioni di 10 mm): visione di metastasi epatiche in fase portale, epatocarcinoma (HCC) in fase portale e HCC in fase arteriosa
- Vertebre lombari (lesioni di 5 mm): visione di lesioni osteolitiche e sclerotiche

## Dimostrazione della potenziale riduzione della dose in fantocci realistici realizzati con stampa 3D

In un altro studio<sup>6</sup> è stato utilizzato un nuovo fantoccio dei polmoni ottenuto con stampa 3D, realizzato da immagini reali di pazienti che evidenziavano la patologia, per valutare le prestazioni di Precise Image a dosi ridotte. Il fantoccio stampato in 3D mostra profili di attenuazione, texture e strutture più rappresentativi delle scansioni cliniche rispetto ai fantocci tradizionali. Le scansioni eseguite con numerosi livelli di dose e su due diverse corporature sono state ricostruite con FBP, iDose<sup>4</sup> e Precise Image. Le metriche quantitative della qualità dell'immagine sono state confrontate tra le immagini ricostruite.



**Fino al 94% di riduzione della dose** mantenendo o migliorando la rilevabilità

### Risultati principali

Precise Image ha apportato un miglioramento significativo nella rilevabilità basata su attività (d') rispetto a iDose<sup>4</sup>. Questo ha consentito una potenziale riduzione della dose del 46-94% su tutte le anatomie, mantenendo o migliorando al contempo anche la rilevabilità rispetto a iDose<sup>4</sup>. Valutazioni soggettive della qualità delle immagini eseguite utilizzando fantocci antropomorfi ne hanno confermato l'idoneità all'uso clinico con questi livelli di dose.



**Fino all' 83% di riduzione della dose** senza compromettere la qualità diagnostica delle immagini

### Risultati principali

Precise Image consente di ridurre del 25-83% la dose di radiazione rispetto al livello di riferimento diagnostico (12 mGy per le immagini FBP), in base al livello di riduzione del rumore prestabilito senza compromettere la qualità diagnostica delle immagini, superando la riduzione di dose ottenuta con iDose<sup>4</sup>.

# Confronto di immagini cliniche



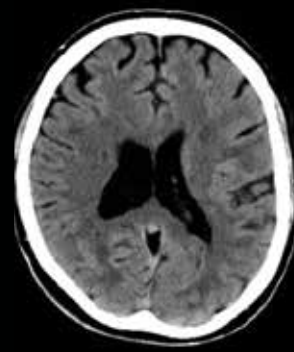
iDose<sup>4</sup>



Precise Image



iDose<sup>4</sup>



Precise Image



iDose<sup>4</sup>, sezioni di 1 mm



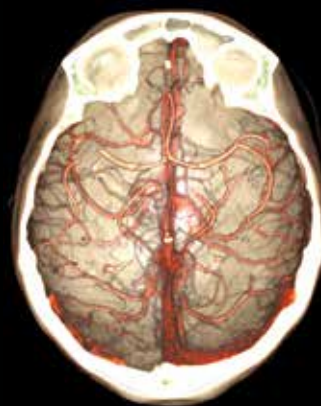
Precise Image, sezioni di 1 mm



Precise Image, sezioni di 1 mm  
80 kVp, 35 mAs, CTDI<sub>vol</sub> 0,8 mGy, DLP 33 mGy\*cm,  
dose effettiva 0,46 mSv (k= 0,014)



Precise Image, BMI 45, sezioni di 1 mm



Precise Image, Photo Realistic Volume Rendering

# Conclusione

Precise Image consente di ridurre significativamente la dose, migliorando al contempo la qualità delle immagini con tempi di ricostruzione rapidi

Precise Image è un algoritmo di ricostruzione avanzato basato sull'IA che si è dimostrato in grado di fornire al contempo una riduzione della dose di radiazione dell'80%, una riduzione del rumore dell'85% e un miglioramento della rilevabilità a basso contrasto del 60%.

Può essere utilizzato per un'ampia gamma di applicazioni cliniche, per immagini del corpo intero, della testa e cardiache\*. Conferisce alle immagini un aspetto del tutto simile a quello delle retroproiezioni filtrate fornendo rapidamente i risultati; con tutti i protocolli di riferimento la ricostruzione avviene infatti in meno di un minuto.

## Risultati simultanei\*\*



\*Precise Image per le scansioni cardiache è in attesa di approvazione 510(k) – non disponibile per la vendita negli Stati Uniti.

\*\*Nella pratica clinica, l'uso di Precise Image consente di ridurre la dose erogata al paziente sottoposto a TC in base all'attività clinica, alla corporatura del paziente e alla posizione anatomica.

È necessario consultare un radiologo e un fisico per definire la dose appropriata per ottenere la qualità dell'immagine diagnostica richiesta per l'attività clinica specifica. Le riduzioni della dose sono state valutate utilizzando protocolli di riferimento per il corpo su sezioni da 1,0 mm con l'impostazione "Smoother" (Più omogenea) e testate sul fantoccio MITA CT IQ (CCT189, The Phantom Laboratory) esaminando l'inserito da 10 mm e confrontando con la retroproiezione filtrata. Si nota un intervallo tra i quattro inserti, utilizzando uno strumento CHO (Channelized Hotelling Observer), con rumore immagine ridotto dell'85% e miglioramento della rilevabilità a basso contrasto da 0%-60% a 50%-80% di riduzione della dose. Per valutare l'aspetto delle immagini è stato utilizzato lo spostamento della curva NPS, in base alla misurazione effettuata su un fantoccio ad acqua di 20 cm al centro della regione di interesse di 50 mm x 50 mm, con uno spostamento medio del 6% o inferiore. Dati in archivio.



## Bibliografia

1. Žabic S, Wang E, Morton T, Brown KM. A low dose simulation tool for CT systems with energy integrating detectors. Med Phys. 2013;40(3):1–14. DOI: 10.1118/1.4789628.
2. Wunderlich A, et al. Exact confidence intervals for channelized Hotelling observer performance in image quality studies. IEEE Trans Med Imaging. 2015;34.2:453–464. DOI: 10.1109/TMI.2014.2360496. PMCID: PMC5542023.
3. Greffier et al, Impact of an artificial intelligence deep-learning reconstruction algorithm for CT on image quality and potential dose reduction: A phantom study, Medical Physics (2022); 1-12.
4. Greffier et al, Contribution of an artificial intelligence deep-learning reconstruction algorithm for dose optimization in lumbar spine CT examination: A phantom study, Diagnostic and Interventional Imaging (2022).
5. Greffier et al, Improved image quality and dose reduction in abdominal CT with deep-learning reconstruction algorithm: a phantom study, European Radiology (2023) 33:699-710.
6. Im, et al. Patient-derived PixelPrint phantoms for evaluating clinical imaging performance of a deep learning CT reconstruction algorithm. MedRxiv preprint, 2023. doi: <https://doi.org/10.1101/2023.12.07.23299625>.

© 2024 Koninklijke Philips N.V. Tutti i diritti sono riservati.

Philips si riserva il diritto di apportare modifiche alle specifiche tecniche e di ritirare dal mercato qualunque prodotto, in qualsiasi momento, senza alcun preavviso o obbligo e non potrà essere ritenuta responsabile per eventuali conseguenze derivanti dall'uso di questa pubblicazione.

[www.philips.com](http://www.philips.com)

Stampato in Olanda  
4522 991 85846 \* MAY 2024