

SISTEMI DI ELABORAZIONE DELLE INFORMAZIONI

A.A. 2025-26

Ing. Paolo Querci

ING-INF-05

Lezione 6

RAID: perché serve nei sistemi clinici

Il **RAID** (Redundant Array of Independent Disks) è una tecnologia che **utilizza più dischi fisici come un'unica unità logica**, con l'obiettivo di aumentare la sicurezza dei dati e la continuità operativa. Nei contesti clinici questo è essenziale: radiografie endorali, panoramiche e volumi **CBCT (Cone beam computed tomography)** devono rimanere disponibili anche in caso di guasto hardware, evitando interruzioni del servizio diagnostico.

Le configurazioni RAID più utilizzate in sanità, come **RAID 1** e **RAID 5**, **mantengono il sistema attivo anche se un disco si danneggia**, grazie alla duplicazione o ricostruzione dei dati.

Il **RAID 0**, pur migliorando le prestazioni, non offre alcuna ridondanza e non è adatto a sistemi clinici.

Nei server RIS/PACS, la ridondanza garantisce che file **DICOM** e immagini pregresse restino accessibili durante un guasto.

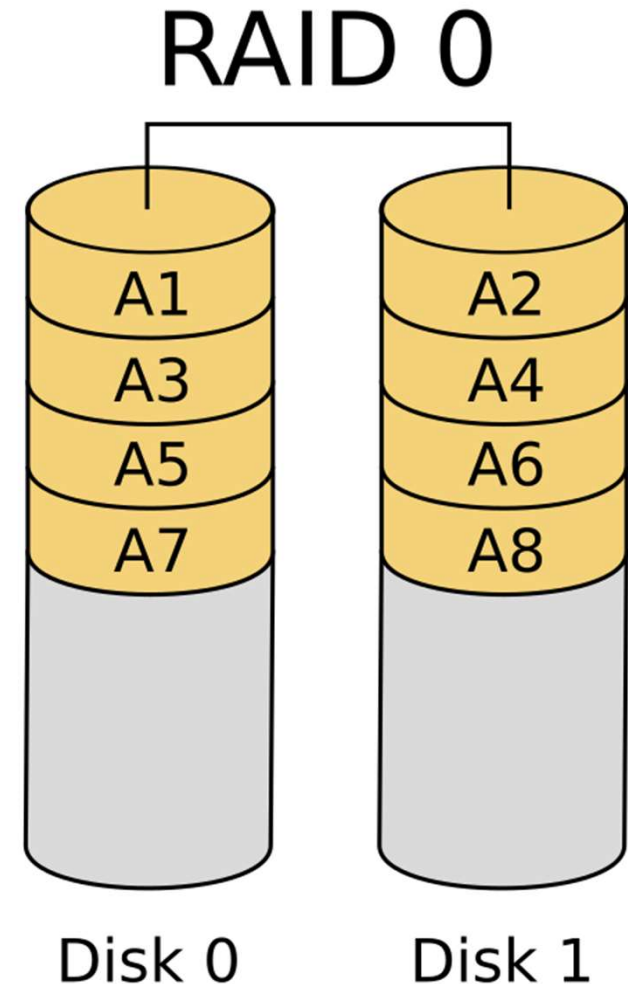
Molti sistemi RAID professionali supportano dischi **hot-swappable**, cioè **sostituibili mentre il server è attivo**. Questa funzione consente di rimpiazzare un disco guasto senza spegnere il sistema, mantenendo la continuità del servizio informatico. L'**hot-swap** è una caratteristica importante nelle architetture di storage per ambienti clinici ad elevata disponibilità.

RAID 0, RAID 1 e RAID 5: funzionamento e differenze

Il **RAID 0** distribuisce i dati su più dischi tramite **striping**, aumentando le prestazioni ma senza offrire ridondanza.

Se un disco si guasta, l'intero insieme diventa inutilizzabile.

Per questo motivo non è impiegato nei sistemi clinici, dove è necessaria una disponibilità continua dei dati diagnostici.

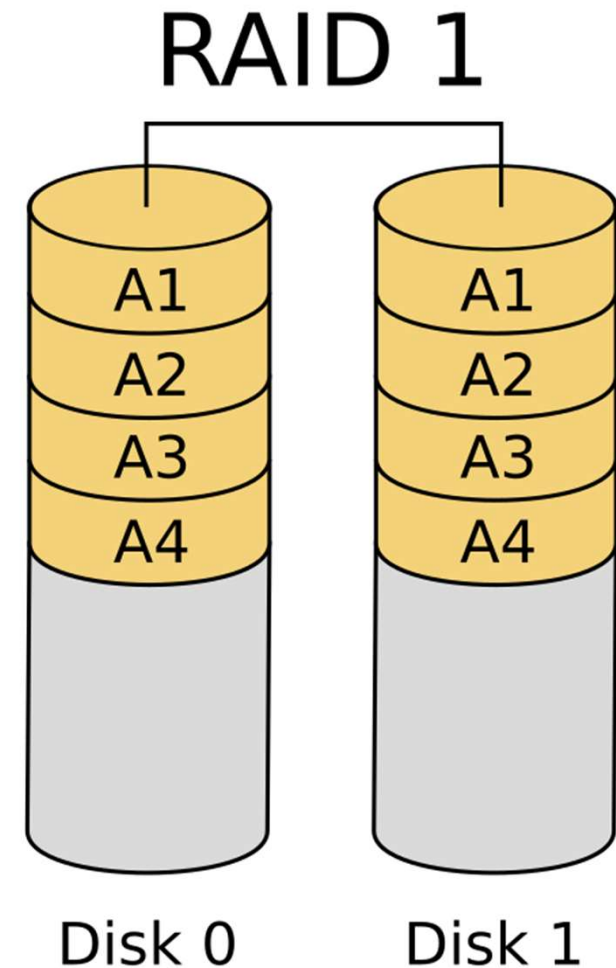


RAID 0, RAID 1 e RAID 5: funzionamento e differenze

Il **RAID 1** utilizza due dischi contenenti una copia identica dei dati (**mirroring**).

Se un disco si danneggia, il sistema continua a funzionare utilizzando l'altro.

Questa configurazione offre elevata affidabilità ma richiede il doppio dello spazio fisico, riducendo l'efficienza complessiva dell'archiviazione.

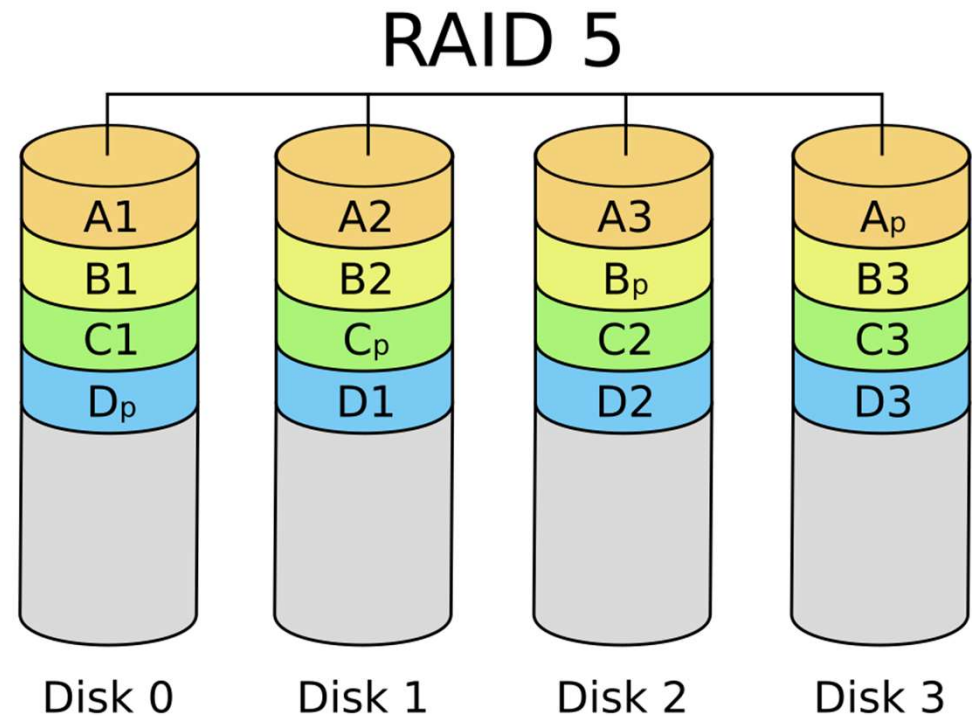


RAID 0, RAID 1 e RAID 5: funzionamento e differenze

Il **RAID 5** combina **striping** e **parità**, distribuendo i dati e le informazioni di ricostruzione su almeno tre dischi.

In caso di guasto, i dati possono essere recuperati senza interrompere il servizio.

Rispetto al **RAID 1**, offre una maggiore efficienza nella gestione dello spazio e un buon equilibrio tra capacità, prestazioni e affidabilità, motivo per cui è spesso adottato nei sistemi **RIS/PACS**.



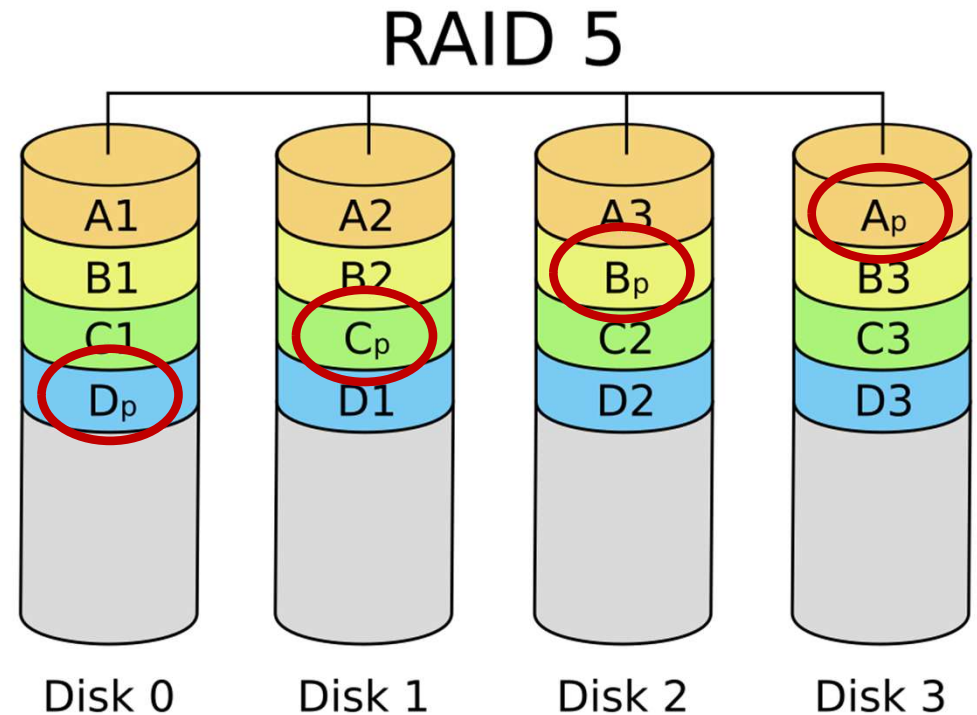
RAID 0, RAID 1 e RAID 5: funzionamento e differenze

Cos'è la **parità** nel RAID 5?

Nel RAID 5, oltre ai dati normali (A1, A2, A3, ecc.), su uno dei dischi viene registrata una **informazione speciale chiamata parità**.

La parità non è una copia del dato, ma una **informazione "riassuntiva", calcolata combinando i contenuti degli altri dischi**. La parità viene calcolata automaticamente dal controller RAID, non dall'utente

👉 Se un disco si guasta, il sistema può ricostruire i dati mancanti usando i dati presenti sugli altri dischi + la **parità**.



Hot-swap e Hot-spare: continuità operativa nei sistemi RAID

La funzionalità **hot-swap** permette di **sostituire un disco guasto mentre il sistema è in funzione**, senza spegnere il server né interrompere l'accesso ai dati.

Questa caratteristica riduce i tempi di inattività ed è fondamentale nei sistemi clinici che richiedono disponibilità continua delle immagini diagnostiche.

Il controller **RAID** rileva automaticamente la rimozione del disco difettoso e avvia la ricostruzione dei dati non appena viene inserito un nuovo disco.

Hot-swap e Hot-spare: continuità operativa nei sistemi RAID

Il **hot-spare** è un disco aggiuntivo installato nel server ma non utilizzato durante il funzionamento normale. Rimane in stato di attesa e viene attivato automaticamente quando uno dei dischi operativi si guasta.

Il controller **RAID** assegna il disco hot-spare al gruppo e avvia immediatamente la procedura di ricostruzione, senza richiedere intervento tecnico immediato.

L'impiego combinato di **hot-swap** e **hot-spare** incrementa l'affidabilità dei sistemi **RIS/PACS**: consente la gestione dei guasti anche in orari non presidiati, mantiene l'accesso ai file **DICOM** durante le operazioni di ricostruzione e riduce il rischio di perdita di dati.

Queste tecnologie contribuiscono a garantire disponibilità elevata e continuità del servizio diagnostico.

Cos'è il DICOM

Il **DICOM** (Digital Imaging and COmmunications in Medicine, immagini e comunicazione digitali in medicina) è lo standard internazionale che definisce come creare, descrivere, trasmettere e archiviare immagini diagnostiche insieme ai loro metadati clinici. È nato per garantire che apparecchiature diverse possano comunicare tra loro in modo affidabile e sicuro.

Lo standard DICOM permette di **associare all'immagine tutti i dati necessari alla sua interpretazione**: informazioni anagrafiche, data e ora dell'esame, modalità di acquisizione, parametri tecnici, e identificativi univoci. Questi elementi rendono l'immagine un **documento clinico completo**, non un semplice file grafico.

La forza del DICOM è la sua **interoperabilità**: macchine di produttori diversi, come radiografici, ecografi o TAC, possono produrre immagini perfettamente compatibili con sistemi **RIS/PACS**, facilitando archiviazione, refertazione e consultazione.

Header e Pixel Data

Un file DICOM è composto da due sezioni principali: l'**header**, cioè la parte che contiene i metadati clinici e tecnici; e i **pixel data**, cioè la rappresentazione numerica dell'immagine. Questa struttura garantisce ordine, tracciabilità e interpretazione corretta dei contenuti.

Nell'**header** sono presenti informazioni come anagrafica del paziente, tipo di esame, parametri di esposizione, nome dell'apparecchiatura, dose erogata e codici identificativi (**UID**). Sono dati fondamentali per la corretta lettura diagnostica e per la refertazione.

I **pixel data** rappresentano l'**immagine** vera e propria: una matrice di valori che può descrivere immagini bidimensionali, volumi 3D o sequenze dinamiche. La loro interpretazione dipende dai metadati contenuti nell'header.

La struttura informativa del DICOM: molto più di una semplice immagine

Il formato DICOM non rappresenta una singola radiografia, ma **un intero "gruppo" informativo** organizzato attorno al flusso di lavoro dell'imaging medico.

Ogni dato è inserito in una **gerarchia precisa** che collega tra loro le varie parti dell'esame, evitando confusione e preservando il contesto clinico.

La struttura segue la sequenza Paziente → Studio → Serie → Immagine.

Il livello "Paziente" contiene i dati anagrafici essenziali, quello "Studio" corrisponde a un esame radiologico completo come una CBCT o una panoramica; la "Serie" raggruppa una o più acquisizioni dello stesso studio, mentre ogni "Immagine" rappresenta una singola istanza, con le sue informazioni tecniche.

La struttura informativa del DICOM: molto più di una semplice immagine

Questa architettura consente di **gestire più esami dello stesso paziente in modo ordinato**, mantenendo collegamenti chiari tra visite, date, apparecchiature e parametri.

Un file DICOM non contiene necessariamente una sola immagine: può rappresentare **un'intera serie 3D, un documento strutturato, una misura diagnostica o un referto**.

Per questo motivo il DICOM è considerato un **contenitore completo e strutturato**, non un semplice file grafico.

Metadati e pixel data: cosa contiene davvero un DICOM

Ogni oggetto (dataset) DICOM è composto da due sezioni fondamentali: la **parte descrittiva (metadati)** e, quando presente, la **parte visiva dell'immagine (pixel data)**.

I **metadati** descrivono tutto ciò che non è immagine: l'identità del paziente, la data dell'esame, l'apparecchiatura utilizzata, i parametri tecnici di acquisizione, la posizione dell'immagine nello spazio, la dose erogata, il motivo clinico e gli identificativi univoci che permettono di ricostruire la storia dell'esame.

Queste informazioni garantiscono che il **dato radiologico non venga mai separato dal suo contesto clinico**, prevenendo errori e mantenendo tracciabilità medico-legale.

Metadati e pixel data: cosa contiene davvero un DICOM

Il **pixel data** invece contiene la matrice di pixel che forma l'immagine, come la radiografia o il volume CBCT.

Questa parte può essere compressa (es. JPEG, JPEG2000) ma rimane comunque integrata nel file, insieme ai metadati.

La combinazione di metadati e immagine rende il DICOM un oggetto completo, in cui nulla è affidato alla memoria dell'operatore o al nome del file, ma **tutto è registrato in modo standardizzato e interoperabile**.

Nota: In pratica clinica, quando parliamo di 'un DICOM', ci riferiamo al **file DICOM**, cioè al **dataset** che contiene sia i metadati sia l'immagine (pixel data). Lo **standard DICOM**, invece, è la struttura e il linguaggio comune che permette a sistemi diversi di scambiarsi questi file in modo sicuro e coerente.

La gerarchia del DICOM: perché garantisce ordine, tracciabilità e sicurezza

La struttura multilivello del DICOM permette di **organizzare grandi quantità di dati radiologici senza rischio di smarrimento o confusione.**

Una CBCT può contenere centinaia di immagini o molteplici serie, e ogni parte viene collocata esattamente nel suo livello: dal paziente allo studio, dalla serie alla singola immagine.

Questo modello **consente al PACS di ricostruire facilmente la storia diagnostica di una persona**, di distinguere esami simili eseguiti in date diverse e di associare a ciascuna immagine tutte le informazioni tecniche necessarie per comprenderla correttamente.

La gerarchia del DICOM: perché garantisce ordine, tracciabilità e sicurezza

Ogni oggetto della catena **ha un identificativo univoco** che lo lega agli altri e gli permette di essere recuperato anche dopo molti anni.

Questo è fondamentale per la refertazione, per i controlli di qualità, per la ricerca clinica e soprattutto **per evitare errori di identificazione del paziente, una delle principali criticità nei flussi radiologici.**

Senza questa architettura, esami complessi come una CBCT o uno studio multidisciplinare non potrebbero essere gestiti in modo sicuro e ordinato.

UID e Tracciabilità

Nel dataset DICOM ogni entità (studio, serie, immagine) ha un **UID (Unique Identifier, identificatore univoco) che non viene mai riutilizzato**. Questo garantisce **tracciabilità** assoluta e impedisce conflitti tra esami diversi.

Grazie agli UID il sistema distingue inequivocabilmente ogni fase dell'esame: lo studio del paziente, le serie di immagini acquisite e i singoli file. È un elemento essenziale per mantenere la **coerenza** dei dati in sistemi complessi.

Questa architettura permette a **RIS** e **PACS** di collegare correttamente immagini, referti e metadati clinici, evitando errori di associazione tra pazienti diversi.

Perché tutto questo è utile in odontoiatria e igiene dentale

Comprendere come è organizzato un file DICOM è essenziale anche per chi lavora in ambito odontoiatrico.

Conservare l'esame in formato DICOM, e non come immagine JPEG, significa **mantenere tutti i metadati clinici necessari per interpretarlo nel tempo**: l'identità del paziente, la data e l'ora, i parametri tecnici di acquisizione, il tipo di apparecchio, la dose, la posizione nello spazio.

Un'immagine JPEG, invece, non mantiene nessuna di queste informazioni e può facilmente portare ad errori diagnostici o a problemi medico-legali.

Perché tutto questo è utile in odontoiatria e igiene dentale

Il DICOM permette inoltre di visualizzare **correttamente serie multiple, confrontare esami nel tempo, accedere alle informazioni tecniche utili per comprendere la qualità e l'orientamento dell'immagine.**

In un settore in cui panoramiche, endorali e CBCT vengono sempre più integrate nei percorsi clinici, il formato DICOM garantisce affidabilità, tracciabilità e sicurezza.

Comprendere la sua struttura aiuta a lavorare meglio, a **evitare errori e a trattare ogni immagine come un vero dato sanitario**, completo e non modificabile.

Formati, Compressione e Transfer Syntax

Il DICOM supporta sia compressioni **lossless** (senza perdita di qualità) sia compressioni **lossy** (più leggere ma con perdita di informazione). La scelta dipende dal tipo di esame: ad esempio, immagini endorali o CBCT richiedono qualità piena.

La **transfer syntax** stabilisce le regole di codifica dei dati dentro un file DICOM, ad esempio il tipo di compressione (se usata), il modo in cui vengono scritti i numeri e altre informazioni tecniche. Serve a garantire che dispositivi e software diversi possano leggere e interpretare correttamente lo stesso file.

Una gestione corretta di compressione e transfer syntax è fondamentale per mantenere **qualità diagnostica**, tempi di trasmissione accettabili e uso efficiente dello spazio nei PACS.

DICOM come Documento Medico-Legale

Un file DICOM è un **documento clinico legalmente valido**: immagine e metadati formano un tutt'uno. Modificarlo senza registrazione comprometterebbe l'integrità dell'esame e potrebbe invalidare la refertazione.

Per questo motivo **il DICOM non deve essere alterato**: i pixel data non vanno modificati e ogni variazione nei metadati deve essere tracciata. Questo garantisce affidabilità e continuità del percorso diagnostico.

Questa caratteristica è essenziale per **audit clinici**, controlli di qualità e ricostruzione del percorso diagnostico del paziente.

Glossario essenziale DICOM

DICOM: Digital Imaging and COmmunications in Medicine: standard che unisce immagine e dati clinici.

Header: Parte del file che contiene metadati clinici, tecnici e identificativi.

Pixel data: Matrice di valori che rappresenta l'immagine diagnostica.

UID: Unique Identifier: codice univoco che garantisce tracciabilità assoluta.

Lossless: Compressione senza perdita di qualità.

Lossy: Compressione con perdita controllata di informazione.

Transfer syntax: insieme di regole che definiscono come i dati (immagine e metadati) sono codificati e interpretati dai sistemi, garantendo compatibilità tra apparecchiature diverse

Servizi DICOM essenziali

MWL (Modality Worklist): lista elettronica degli esami programmati. Evita digitazione manuale e errori di anagrafica.

C-STORE (Storage Service): invio delle immagini dalla Modalità al PACS.

C-FIND (Query Service): ricerca nel PACS di studi/serie/immagini tramite criteri (paziente, data, esame...).

C-MOVE (Retrieve Service): recupero di immagini dal PACS verso una workstation. Il PACS “spinge” le immagini al client.

C-GET (Alternative Retrieve): versione meno comune di retrieve: la workstation “tira” le immagini dal PACS senza connessioni aggiuntive.

MPPS (Modality Performed Procedure Step): messaggio automatico che comunica a RIS/PACS cosa è stato *realmente* eseguito (inizio, fine, parametri, numero immagini).

Nota: “**Modalità**” è qualsiasi apparecchiatura di imaging (TC, RM, RX, ecografo, CBCT) che acquisisce le immagini e dialoga con RIS/PACS.

Cos'è il PACS

Il **PACS (Picture Archiving and Communication System, sistema di archiviazione e comunicazione delle immagini)** è la piattaforma che conserva, organizza e rende disponibili le immagini diagnostiche in formato **DICOM** (Digital Imaging and COmmunications in Medicine). Riceve le immagini dalle apparecchiature, le archivia e le mette a disposizione dei clinici.

Attraverso il PACS le immagini sono consultabili su workstation o **viewer** dedicati, senza ricorrere a supporti fisici come CD o chiavette USB. Questo riduce i tempi di attesa, semplifica il flusso di lavoro e limita il rischio di smarrimento dei dati.

Il PACS è il **cuore della diagnostica per immagini** moderna: collega apparecchiature, sistemi informativi e professionisti, rendendo possibile una gestione integrata degli esami nel tempo.

Architettura di un PACS

Dal punto di vista tecnico, un PACS comprende un **server centrale**, che ospita il software principale; un **database**, che gestisce i metadati e gli indici di ricerca; e uno **storage**, spesso ridondato tramite tecnologie come il **RAID**, che contiene i file **DICOM**.

I **viewer**, cioè i programmi per la visualizzazione clinica, consentono ai professionisti di esplorare le immagini, ingrandirle, regolare finestra e livello, effettuare misurazioni e confrontare esami diversi.

La **rete ospedaliera** collega apparecchiature, **RIS** (Radiology Information System) e **PACS**, permettendo il trasferimento dei dati. Una rete stabile e con banda adeguata è essenziale per garantire caricamenti rapidi e consultazione fluida.

Funzioni principali del PACS

Il PACS utilizza servizi **DICOM** come **C-STORE**, cioè la memorizzazione delle immagini inviate dalle apparecchiature; **C-FIND**, cioè la ricerca di studi e serie basata sui metadati; e **C-MOVE**, cioè il trasferimento delle immagini verso viewer o altre stazioni.

Questi servizi fanno parte del modello **DIMSE** (DICOM Message Service Element), cioè l'insieme di messaggi che regolano lo scambio di informazioni. Nella pratica, consentono ai sistemi di parlarsi in modo **standardizzato** e **affidabile**.

Oltre allo scambio di immagini, il PACS integra funzioni di gestione degli utenti, registrazione degli accessi (**logging**), audit e controllo permessi, aspetti fondamentali per la **sicurezza** e la protezione dei **dati sensibili** del paziente.

Tipologie di PACS

Un **PACS locale** è installato all'interno di un singolo reparto o struttura e gestisce un numero limitato di apparecchiature. Garantisce prestazioni elevate in un contesto ristretto, ma offre minore flessibilità per la collaborazione tra sedi diverse.

Un **PACS aziendale** serve l'intera azienda sanitaria o rete ospedaliera, consentendo consultazione e refertazione delle immagini da molteplici reparti e sedi. È la configurazione tipica degli ospedali moderni.

Un **PACS cloud** delega l'archiviazione a data center remoti certificati. Offre **scalabilità**, riduzione dell'hardware on-site e accesso da più punti geografici, ma richiede connettività affidabile e politiche di sicurezza molto rigorose.

Vantaggi clinici e operativi del PACS

Dal punto di vista clinico, **il PACS rende le immagini immediatamente disponibili dopo l'acquisizione**, permettendo ai professionisti di visualizzare gli esami senza attese legate alla consegna di supporti fisici o alla stampa su pellicola.

La **centralizzazione** degli esami facilita la **continuità assistenziale**: è possibile confrontare studi nel tempo, recuperare immagini pregresse e condividere casi complessi tra specialisti, anche a distanza.

Operativamente, il PACS riduce i costi di gestione legati a pellicole e archivi fisici, diminuisce il rischio di smarrimento, supporta **audit** e **controlli qualità** e fornisce una base dati solida per attività di ricerca e miglioramento dei processi.

Cos'è il RIS

Il **RIS (Radiology Information System, sistema informativo di radiologia)** è la piattaforma che gestisce il flusso amministrativo e clinico degli esami radiologici: prenotazione, accettazione, programmazione, tracciamento dello stato dell'esame e refertazione. A differenza del PACS, **il RIS gestisce informazioni, non immagini.**

Il RIS contiene dati anagrafici, richieste del medico, appuntamenti, lista di lavoro (worklist), esami passati, codici di esecuzione e informazioni utili alla refertazione. Coordina le attività e garantisce coerenza lungo l'intero percorso diagnostico.

Il RIS è integrato con PACS e DICOM, condividendo dati essenziali tramite standard come HL7 (Health Level Seven, messaggistica clinica). Questo permette sincronizzazione tra agenda, sala di acquisizione e archivio immagini.

Prenotazione e Accettazione

Il flusso RIS inizia con la **prenotazione**, fase in cui viene richiesto l'esame e creato l'ordine radiologico. L'**accettazione** conferma la presenza del paziente il giorno dell'esame e garantisce che i dati anagrafici siano corretti e aggiornati.

Durante l'accettazione, il RIS assegna un **identificativo univoco** allo studio e comunica alle apparecchiature diagnostiche i dati del paziente e il tipo di esame da eseguire.

Questo processo assicura che l'immagine venga archiviata con i **metadati corretti**, evitando errori di associazione tra pazienti o duplicazioni degli esami.

Worklist e Acquisizione

La **worklist** (lista di lavoro) è uno degli elementi più importanti del RIS: fornisce all'apparecchiatura l'elenco degli esami da eseguire insieme ai dati del paziente. È un meccanismo che riduce drasticamente gli errori manuali.

Quando l'apparecchiatura seleziona uno studio dalla worklist, i dati vengono applicati automaticamente all'immagine **DICOM**, evitando la digitazione manuale e garantendo **coerenza**.

Grazie alla worklist, l'operatore non deve inserire manualmente i dati del paziente: questo **riduce drasticamente errori**, evita duplicazioni e garantisce che ogni immagine sia associata correttamente all'esame e al paziente giusto.

L'acquisizione dell'immagine segue parametri tecnici configurati dall'operatore, ma il RIS assicura che lo studio venga registrato correttamente e inviato al PACS per l'**archiviazione**.

PPS e Refertazione

Durante l'acquisizione, la macchina aggiorna il RIS tramite **PPS (Performed Procedure Step, fase di esecuzione registrata)**, indicando inizio, fine, parametri tecnici e eventuali note operative. Questo permette di monitorare tempi, qualità, ripetizioni e dose erogata.

Una volta che le immagini sono nel PACS, il radiologo o il professionista incaricato può aprirle nel **viewer**, analizzarle e produrre il referto. L'interazione RIS-PACS garantisce sincronizzazione continua.

Il referto viene poi archiviato nel RIS e collegato allo studio, rendendolo consultabile nel tempo e integrabile con altri sistemi come il **FSE** (Fascicolo Sanitario Elettronico).

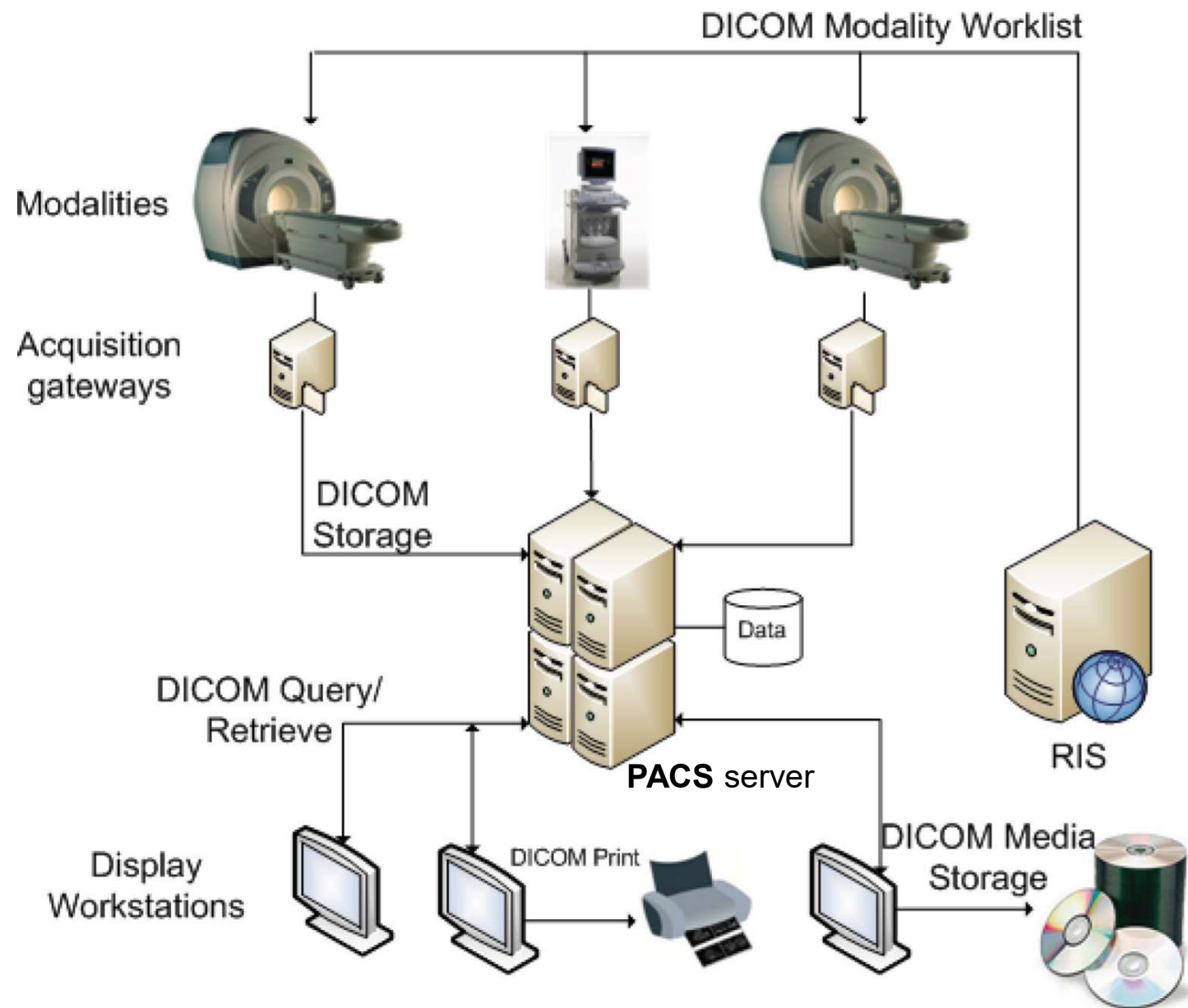
Perché gli Igienisti Dentali Vedono il RIS

Gli igienisti dentali utilizzano il RIS per consultare la **worklist**, visualizzare gli esami programmati e accedere alle immagini pregresse dei pazienti, soprattutto nelle strutture ospedaliere o universitarie.

Il RIS consente di avere un quadro completo della **storia radiologica** del paziente, facilitando diagnosi corrette, confronto con esami precedenti e pianificazione del trattamento.

L'interazione diretta tra RIS e PACS permette agli igienisti di consultare immagini e referti anche senza intervenire nelle fasi tecniche di acquisizione, mantenendo però piena consapevolezza del **percorso clinico**.

Panoramica di un sistema RIS - PACS



Servizi DICOM essenziali

MWL (Modality Worklist): lista elettronica degli esami programmati. Evita digitazione manuale e errori di anagrafica. → Viene generato e inviato dal RIS o dal PACS (più spesso dal RIS)

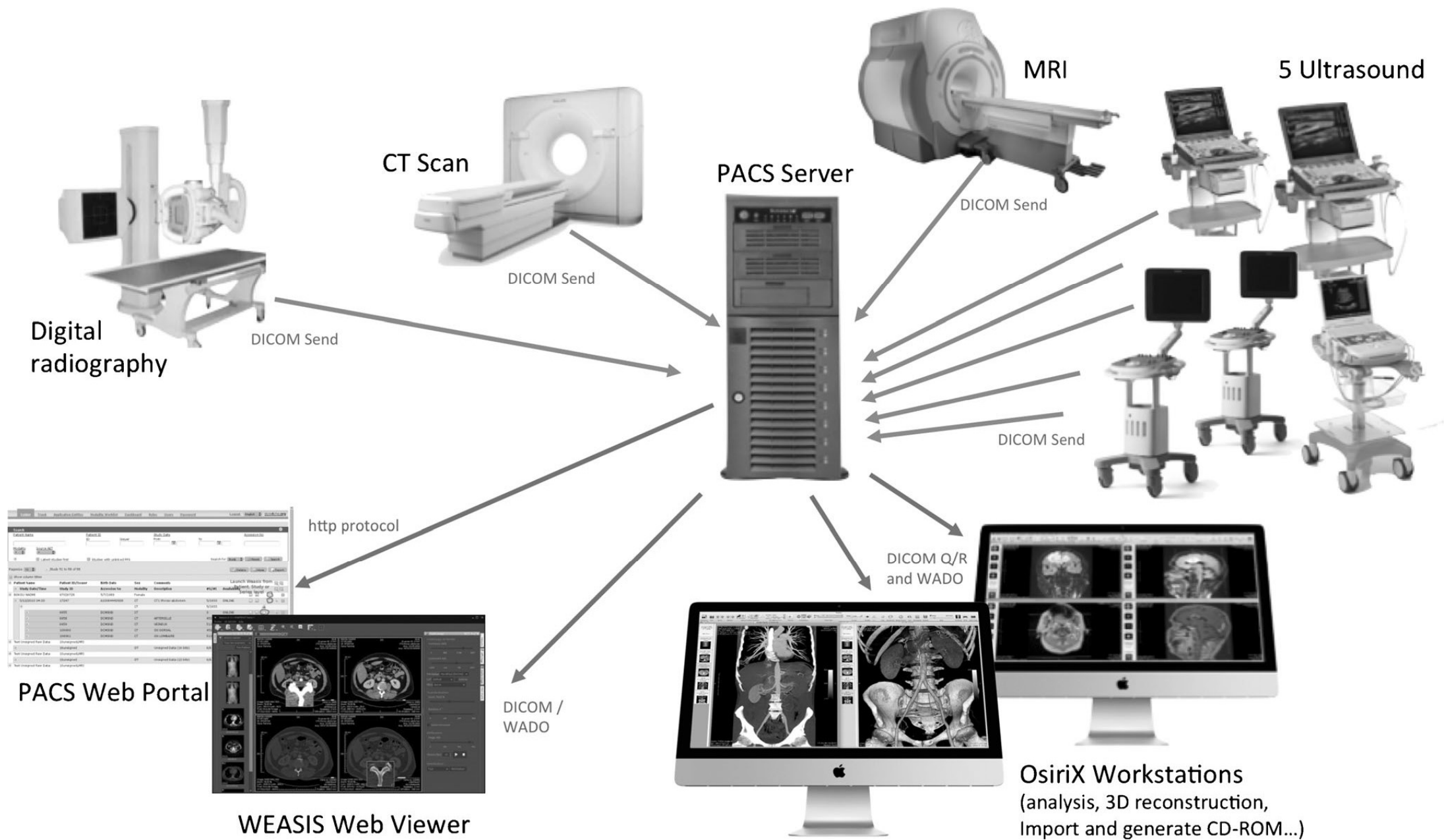
C-STORE (Storage Service): invio delle immagini dalla Modalità al PACS. È il “caricamento” standard del DICOM.

C-FIND (Query Service): ricerca nel PACS di studi/serie/immagini tramite criteri (paziente, data, esame...).

C-MOVE (Retrieve Service): recupero di immagini dal PACS verso una workstation. Il PACS “spinge” le immagini al client.

C-GET (Alternative Retrieve): versione meno comune di retrieve: la workstation “tira” le immagini dal PACS senza connessioni aggiuntive.

MPPS (Modality Performed Procedure Step): messaggio automatico che comunica a RIS/PACS cosa è stato *realmente* eseguito (inizio, fine, parametri, numero immagini). Garantisce coerenza tra Worklist ed esame svolto. → Lo genera la modalità.



Radiografia Endorale: caratteristiche

La **radiografia endorale** è un esame ad **alta risoluzione** utilizzato per valutare dettagli fini come carie iniziali, lesioni periapicali e condizioni parodontali. Grazie alla ridotta area di acquisizione, offre immagini molto nitide e con elevato contrasto.

L'esame utilizza sensori digitali che producono immagini **DICOM**, garantendo qualità costante e possibilità di regolazioni post-acquisizione come contrasto, luminosità e ingrandimento senza perdita di informazione.

La **precisione** dell'endorale è ideale per **analisi mirate**, ma la sua limitata estensione anatomica richiede altre metodiche per valutare strutture più ampie come arcate complete o articolazioni temporo-mandibolari.

Limiti dell'Endorale

L'endorale, pur essendo molto dettagliata, copre un campo estremamente limitato. Può quindi risultare insufficiente per valutare l'intero quadro clinico, soprattutto nei casi di trattamenti estesi o patologie diffuse.

La corretta interpretazione dell'immagine dipende dall'orientamento del sensore e dalla tecnica di posizionamento. Errori di inclinazione, rotazione o centratura possono creare **distorsioni** o sovrapposizioni.

In alcuni casi, l'endorale non permette la valutazione tridimensionale necessaria per diagnosi complesse, rendendo necessari esami come la **CBCT** (Cone Beam Computed Tomography).

Panoramica (OPT): caratteristiche e limiti

La **panoramica dentale** è un esame bidimensionale che fornisce una visione globale delle arcate dentarie, delle ossa mascellari e delle articolazioni temporo-mandibolari. È utile come **primo esame di screening**.

L'OPT presenta però limitazioni fisiologiche dovute alla geometria di acquisizione: ingrandimenti non uniformi, sovrapposizioni e **distorsioni** rendono difficile valutare dettagli fini.

La panoramica non sostituisce l'endorale nelle **diagnosi di precisione** e non permette valutazioni tridimensionali, necessarie per implantologia o chirurgia complessa.

Precisazione sul DICOM

Uno degli errori più frequenti è confondere il formato dell'immagine con il contenitore DICOM. Il DICOM, infatti, **non è un formato immagine specifico né un qualsivoglia algoritmo di compressione**, ma un **contenitore strutturato** che incapsula l'immagine e i relativi metadati clinici.

L'immagine interna può essere **non compressa** oppure **compressa** con algoritmi standard come JPEG, JPEG lossless o JPEG 2000, a seconda delle scelte del produttore o del software.

Errori Comuni nelle Immagini Odontoiatriche

Una potenziale **criticità** si genera quando l'immagine viene **esportata** come semplice file JPEG al di fuori del contenitore DICOM. In questo caso **si perdono completamente i metadati clinici** (anagrafica, dose, dimensioni, parametri tecnici, UID) e la qualità può essere ridotta se la compressione di esportazione è lossy. Questo rende l'immagine inadatta a diagnosi, refertazione e archiviazione.

Criticità aggiuntive riguardano la **qualità propria dell'immagine**: sovraesposizione/sottoesposizione, errato posizionamento del sensore e rotazioni non intenzionali, che deformano l'immagine.

Anche in presenza di un file DICOM corretto, questi problemi tecnici possono compromettere la valutazione clinica.

Errori Comuni nelle Immagini Odontoiatriche

DICOM con JPEG interno / incapsulato (clinico e sicuro)

Un file **DICOM** è preferibile perché contiene immagine e metadati clinici all'interno di un contenitore standard. L'immagine può essere **non compressa** oppure compressa mediante algoritmi come **JPEG, JPEG lossless o JPEG 2000**.

Quando il JPEG è **incapsulato nel DICOM**, rimane un oggetto medico-legale completo: la compressione non compromette il valore clinico finché è conforme allo standard.

Errori Comuni nelle Immagini Odontoiatriche

JPEG “esterno”: immagine isolata e non clinica

Un semplice file **JPEG esterno** (.jpg), esportato senza incapsulamento, è soltanto una fotografia digitale: non contiene dati del paziente, parametri tecnici, dimensioni reali, orientamento, dose o identificativi univoci. Poiché è normalmente **lossy**, può introdurre artefatti e perdita di dettaglio, diminuendo la qualità e rendendolo inadatto alla diagnosi o alla refertazione.

Uso ammesso del JPEG esterno

Il JPEG diretto può essere usato **solo per fini illustrativi o presentazioni**, mai per refertare, archiviare o confrontare esami nel tempo. Nella pratica clinica e nell'invio al **PACS**, deve sempre essere utilizzato un file **DICOM integro**, che garantisce qualità, tracciabilità e valore medico-legale.

Cos'è la CBCT (Cone Beam Computed Tomography)

La **Cone Beam Computed Tomography (CBCT)** è una tecnica di imaging tridimensionale basata su raggi X che utilizza un **fascio conico** anziché un fascio “a ventaglio” sottile (fan-beam) tipico delle TC ospedaliere tradizionali.

Questo fascio a forma conica permette di acquisire, con molte meno rotazioni, talvolta una sola, l'intero volume anatomico da studiare.

Durante la scansione, il sistema ruota di 180° o 360° attorno al paziente, acquisendo centinaia di proiezioni bidimensionali (projection data).



Cos'è la CBCT (Cone Beam Computed Tomography)

Un software di ricostruzione elabora queste proiezioni e genera un volume tridimensionale composto da **voxel isotropici**, cioè **piccoli cubi con lati uguali** che rappresentano il tessuto anatomico in modo omogeneo.

La CBCT si è affermata soprattutto nell'**imaging dento-maxillo-facciale** perché unisce buona risoluzione spaziale, apparecchiature compatte, costi inferiori rispetto a una TC tradizionale e una dose radiante più contenuta.

Il risultato è un dataset 3D che può essere tagliato, ruotato, misurato e ricostruito sui vari piani anatomici in modo estremamente flessibile.

Perché la CBCT è importante in odontoiatria

La **CBCT** fornisce immagini 3D reali che consentono di visualizzare strutture anatomiche senza sovrapposizioni, superando i limiti delle metodiche bidimensionali (endorali e panoramiche).

La sua **risoluzione spaziale elevata** (anche fino a 0,09 mm) rende possibile osservare dettagli ossei minuti, punti di repere e rapporti anatomici complessi.

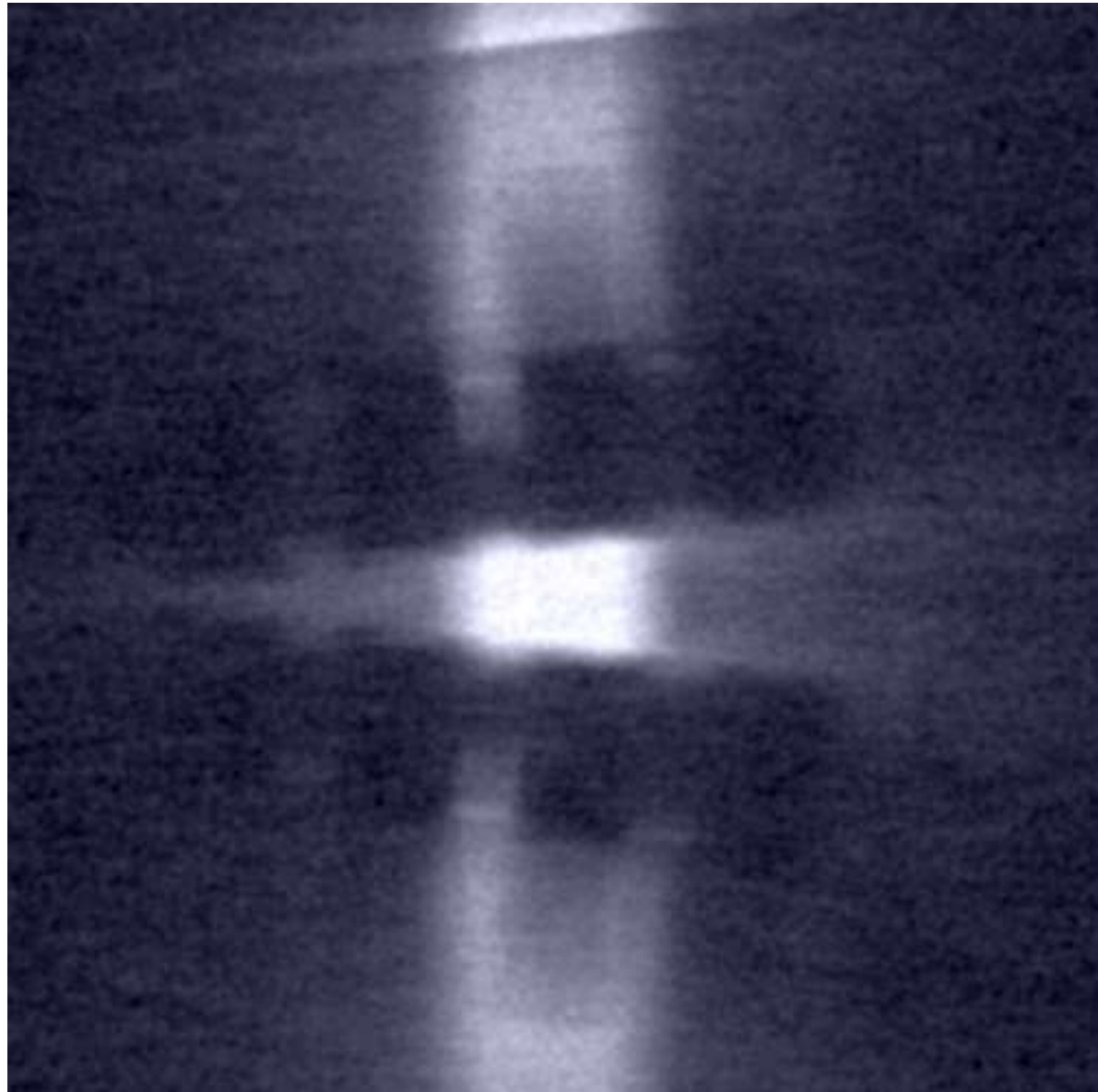
Il rapporto costo/beneficio è molto favorevole: apparecchiature relativamente compatte, tempi di acquisizione brevi e possibilità di ricostruire modelli 3D la rendono ideale per implantologia, endodonzia, ortodonzia e ATM.

Inoltre, rispetto alla **TC** spirale, la **CBCT** utilizza dosi inferiori a parità di campo studiato.

La CBCT in odontoiatria

**Tomografia computerizzata
cone beam** (Cone Beam
Computed Tomography,
CBCT): un **singolo esempio
di immagine** ottenuta con
un fascio conico di raggi X
che mostra denti artificiali.

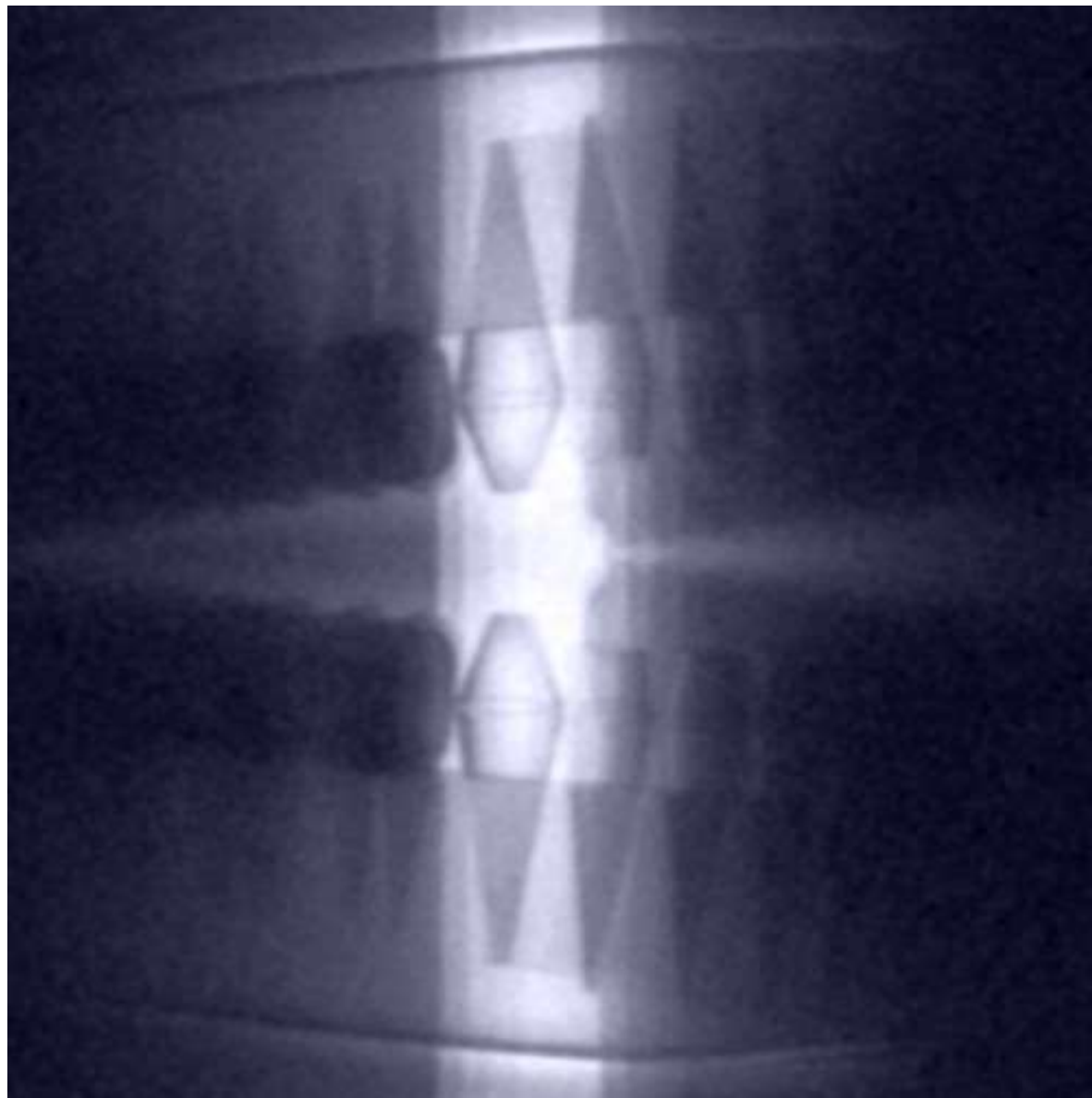
*Per motivi di privacy dei
pazienti non vengono utilizzati
denti reali.*



La CBCT in odontoiatria

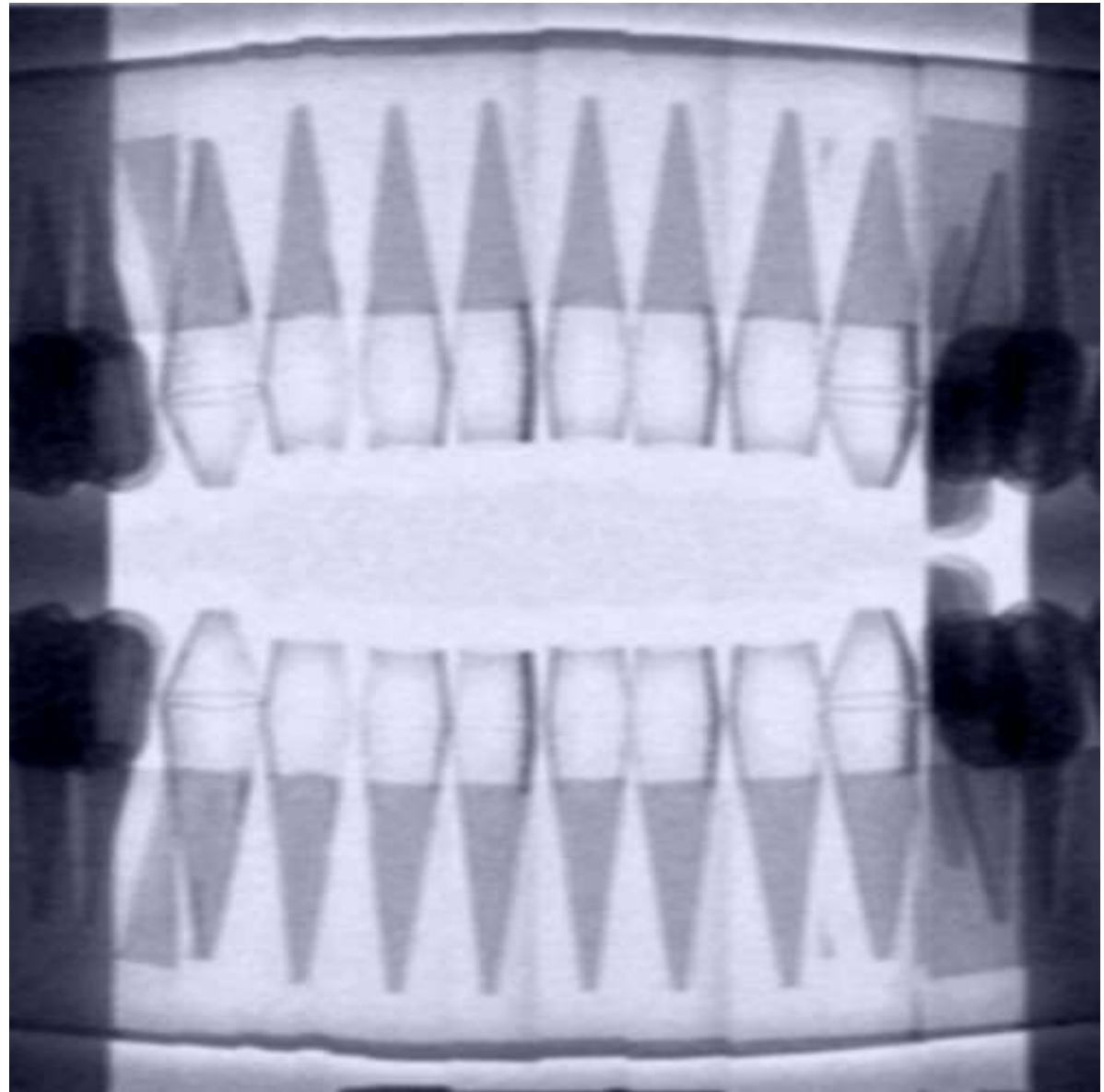
Sovrapposizione di più immagini per evidenziare un dente specifico.

Le informazioni delle altre parti del volume vengono volutamente trascurate, poiché la loro inclusione, statisticamente, peggiorerebbe la qualità complessiva dell'immagine.



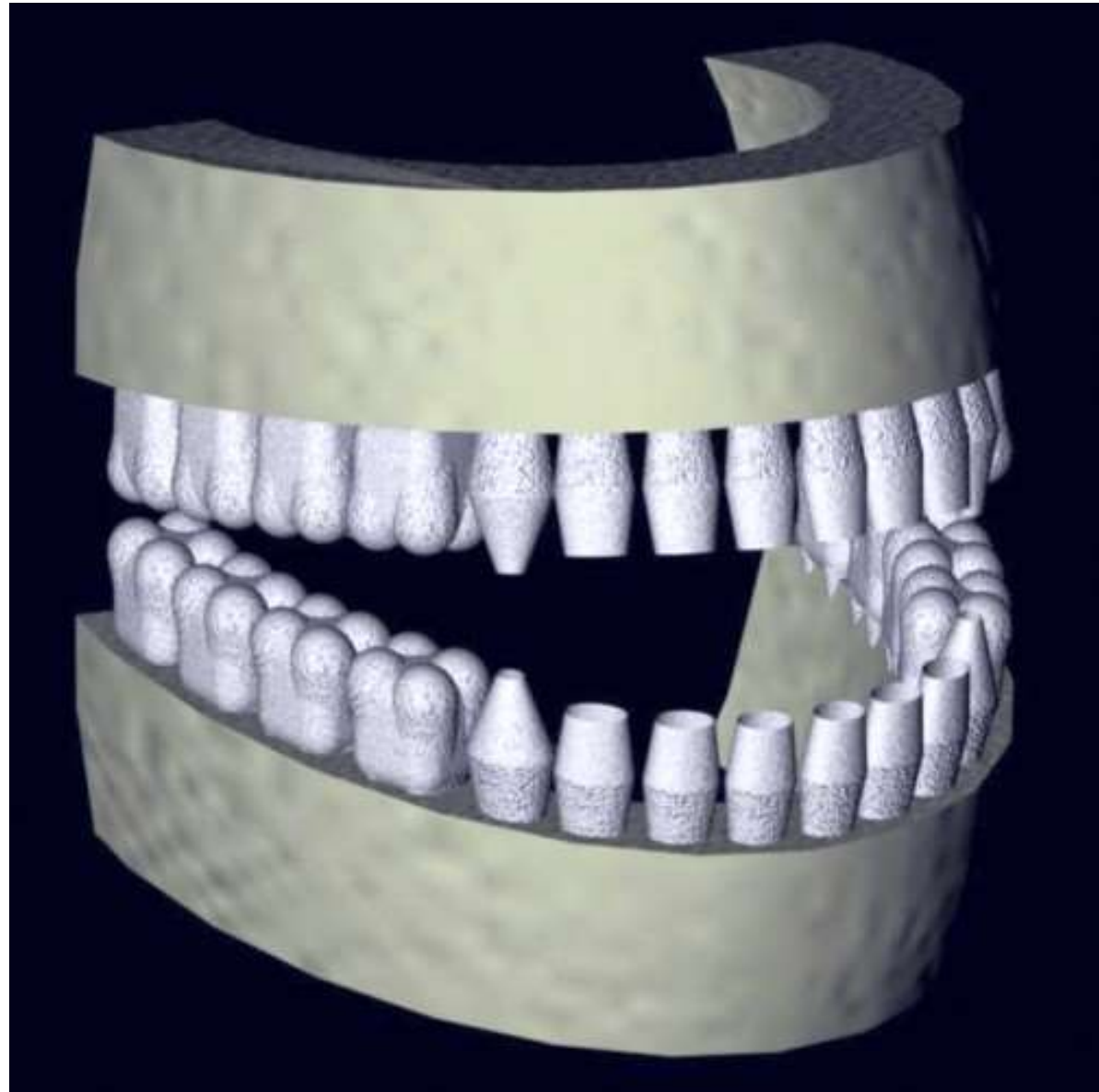
La CBCT in odontoiatria

Combinando varie immagini è possibile ricostruire una vista panoramica dell'arcata dentale, simile a una radiografia tradizionale ma derivata dal volume CBCT.



La CBCT in odontoiatria

Tomografia volumetrica digitale: ricostruzione tridimensionale di denti artificiali ottenuta a **partire dai dati CBCT** acquisiti con raggi X.

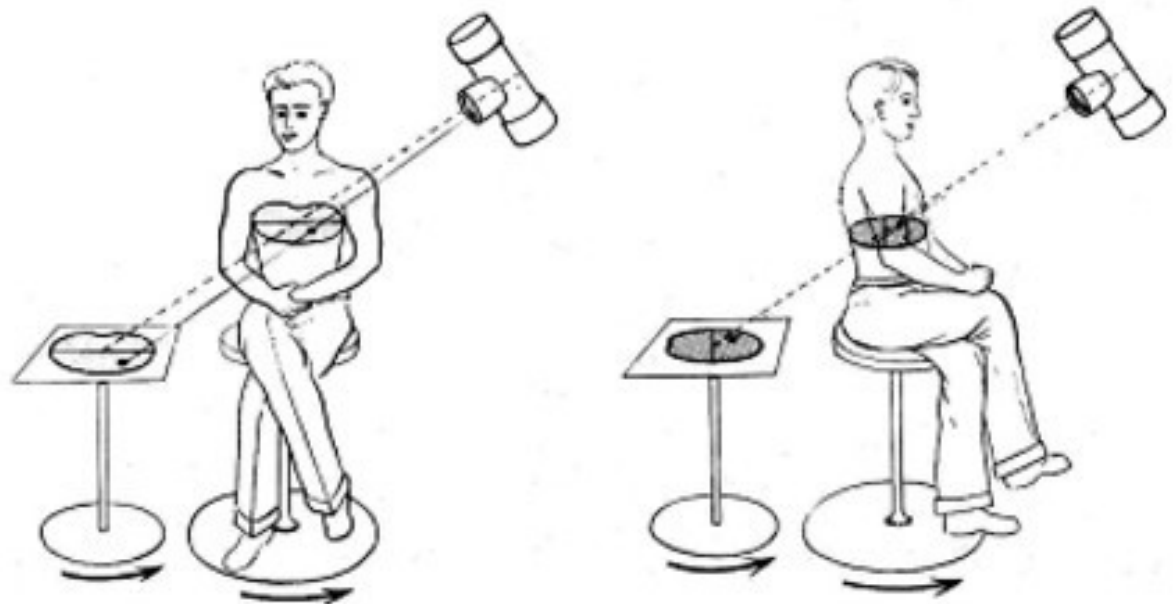


Stratigrafia: l'origine italiana della tomografia

La **stratigrafia** o **tomografia** (dal greco *tómos*, nel senso di "strato") è una tecnica radiografica inventata negli **anni trenta** dal radiologo italiano **Alessandro Vallebona**.

Si otteneva muovendo in modo sincronizzato tubo radiogeno e pellicola radiografica: la porzione d'interesse rimaneva nitida, i piani sovrapposti venivano cancellati dal movimento.

Rappresenta la precorritrice diretta della tomografia computerizzata moderna: stesso obiettivo (sezioni), tecnologia pre-digitale.



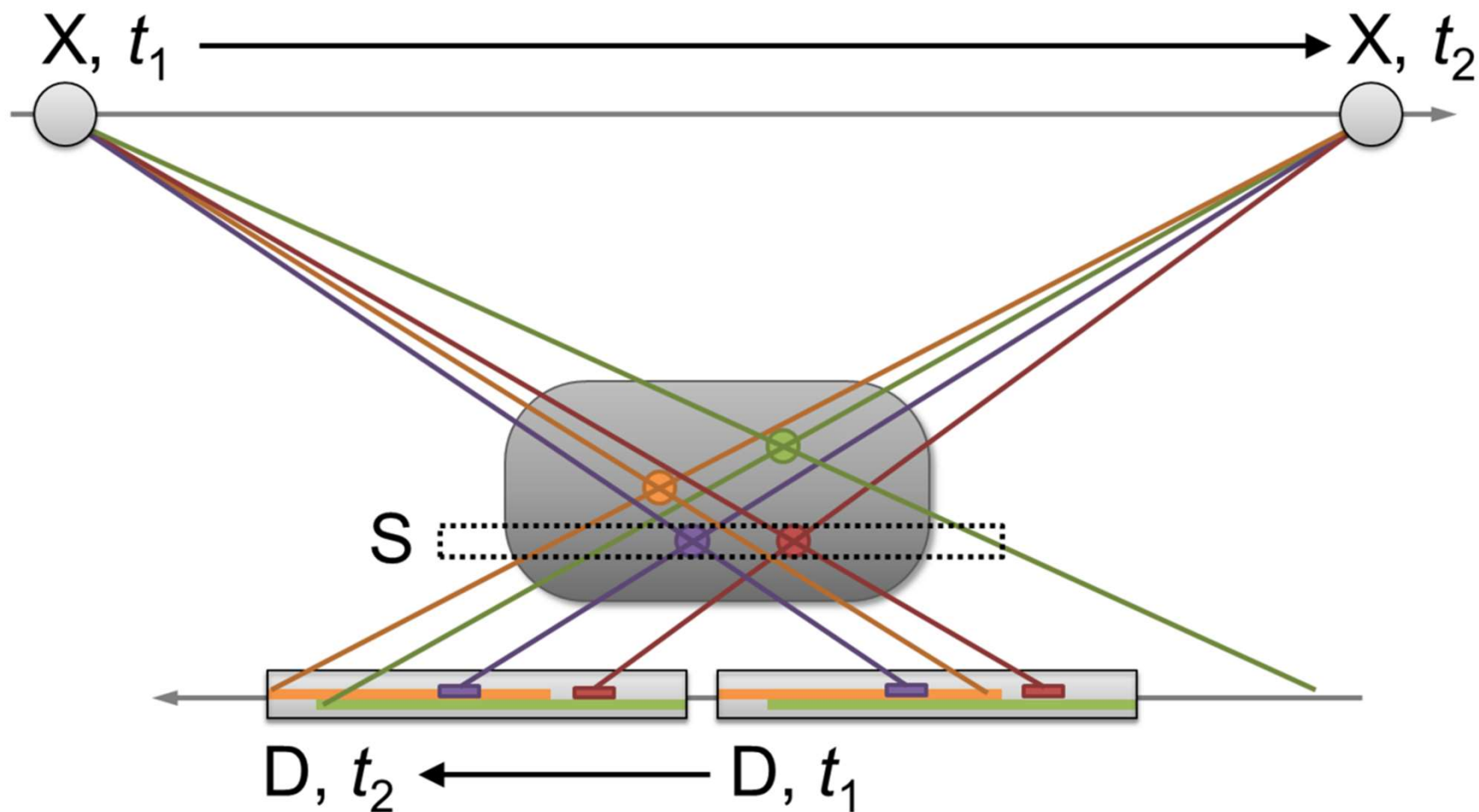


Illustrazione del movimento sorgente/rivelatore nella tomografia lineare, con gli **oggetti a fuoco** nel piano di sezione (rosso e viola) e gli **oggetti** sopra e sotto **sfocati** (arancione e verde).

Storia essenziale della CBCT

Le prime idee risalgono agli **anni '70** con la nascita della **TC** tradizionale. Negli **anni '80** la tecnologia del fascio conico venne sperimentata in angiografia e radioterapia, ma solo negli **anni '90** gruppi di ricerca in Italia e Giappone svilupparono i primi sistemi realmente applicabili al distretto dento-maxillo-facciale.

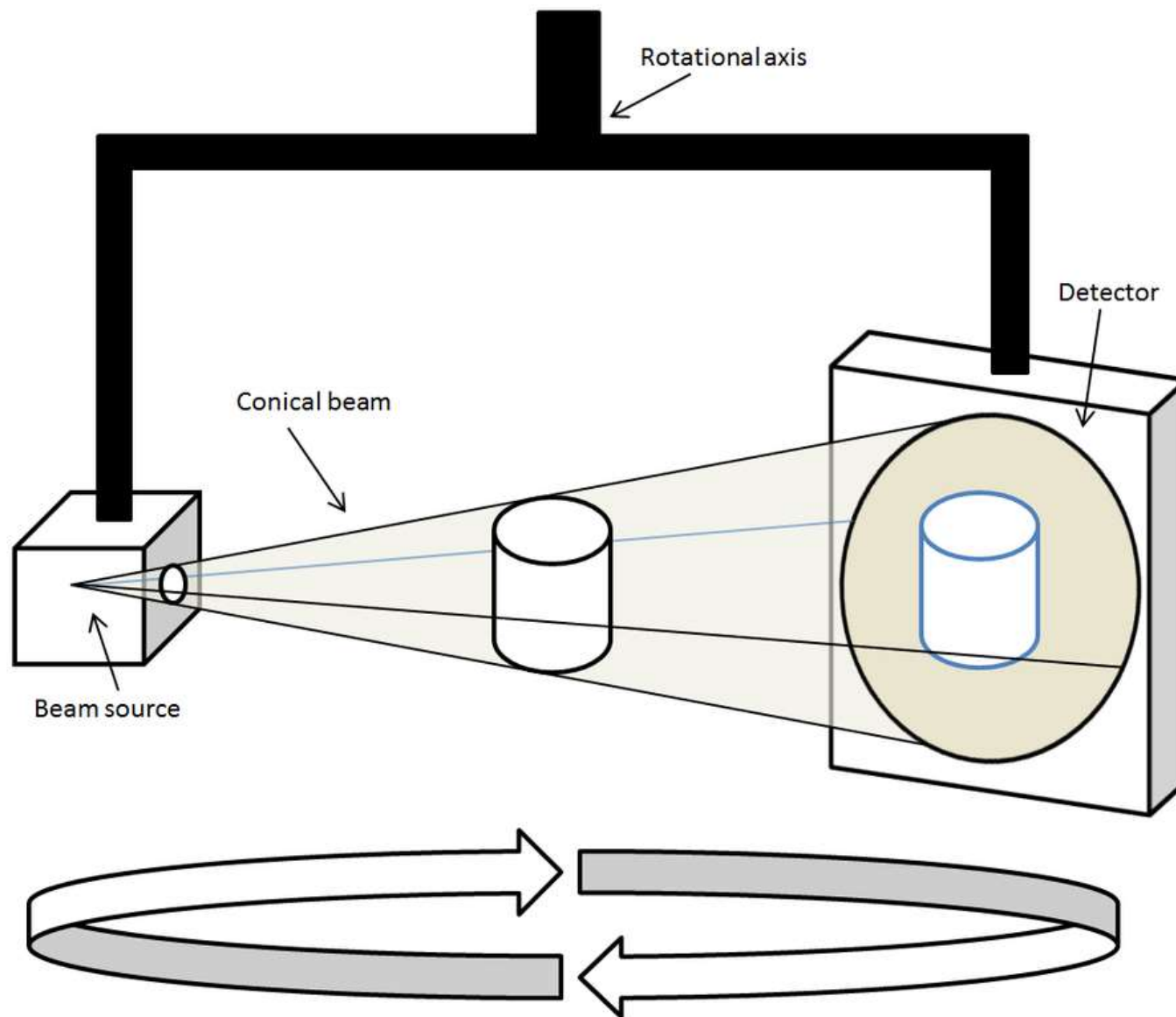
Il primo sistema commerciale dedicato (NewTom 9000) entrò sul mercato europeo nel 1996 e statunitense nel 2001. Grazie alla combinazione di dose ridotta, elevata **risoluzione**, apparecchiature compatte e software avanzati, la **CBCT** è diventata rapidamente lo standard di riferimento per numerose applicazioni odontoiatriche.

Come funziona una CBCT: il principio del fascio conico

Una **CBCT** utilizza una sorgente RX che ruota di 180° o 360° attorno al paziente emettendo un fascio conico che investe l'intero **FOV** (Field of View). Il detettore bidimensionale registra una serie di proiezioni che includono l'intera porzione anatomica.

A differenza della **TC** fan-beam, che acquisisce sezioni sequenziali, la **CBCT** raccoglie l'intero volume in un'unica rotazione, da cui la possibilità di ottenere imaging volumetrico rapido e ad alta **risoluzione**.

Principio di
funzionamento di
una CBCT



Acquisizione: proiezioni e frame

Durante la scansione vengono raccolte centinaia di **projection data**, cioè immagini bidimensionali acquisite da angolazioni diverse mentre il sistema ruota attorno al paziente.

Queste proiezioni rappresentano viste grezze dell'anatomia (**frame**) e costituiscono la materia prima da cui il software ricostruisce il volume 3D.

Il numero di **frame** può variare da 150 a oltre 600, e un quantitativo maggiore permette in genere di ottenere una ricostruzione più nitida, con meno artefatti e **migliore risoluzione**.

Acquisizione: principio ALARA

Questo aumento di qualità, tuttavia, è legato anche a un incremento della dose.

La scelta dei parametri di acquisizione segue il **principio di radioprotezione ALARA (As Low As Reasonably Achievable)**, secondo cui la dose deve essere mantenuta la più bassa possibile purché compatibile con una qualità diagnostica adeguata.

Il compito dell'operatore è quindi trovare il giusto equilibrio tra qualità dell'immagine e radioprotezione, modulando voxel, numero di frame, FOV e tempo di esposizione.

Ricostruzione dell'immagine

Per trasformare le proiezioni in un volume tridimensionale, la **CBCT** utilizza algoritmi di ricostruzione come la Filtered Back Projection (**FBP**) e metodi basati sull'**antitrasformata di Radon**.

La ricostruzione CBCT si basa su algoritmi matematici che trasformano le proiezioni 2D in un volume 3D. Il metodo più utilizzato è la **Filtered Back Projection (FBP)**, che è un'implementazione pratica dell'**antitrasformata di Radon**, la base matematica della tomografia.

Che cos'è la FBP (Filtered Back Projection)

La **Filtered Back Projection (FBP)** è l'algoritmo storico e tuttora più utilizzato per ricostruire le immagini nella CBCT.

Serve a trasformare le **proiezioni bidimensionali** raccolte durante la rotazione (le “ombre” viste da angoli diversi) in un **volume tridimensionale** leggibile.

La FBP è molto veloce, affidabile e adeguata alla maggior parte degli esami dento-maxillo-facciali, motivo per cui è ancora ampiamente usata nei moderni apparecchi CBCT.

Algoritmi più recenti (ricostruzioni iterative) possono migliorare la qualità o ridurre la dose, ma sono più complessi e non sempre necessari.

Che cos'è la FBP (Filtered Back Projection)

Il processo avviene in due passi:

Filtro (Filtered)

Ogni proiezione viene “pulita” con un filtro matematico che migliora i contorni e riduce l'effetto sfocatura che si avrebbe con una semplice somma delle immagini.

Retroproiezione (Back Projection)

Le proiezioni filtrate vengono poi *ribaltate indietro* lungo i percorsi dei raggi X da cui provengono, come se si proiettassero all'indietro all'interno del volume che le ha generate. Sommando correttamente migliaia di raggi, il software ricostruisce forma e densità dei tessuti.

Ricostruzione dell'immagine

In termini semplici, ogni proiezione rappresenta un'ombra da un punto di vista diverso: combinando matematicamente tutte le ombre, si ricostruisce la forma reale degli oggetti.

La ricostruzione produce un volume composto da **voxel**, ognuno con il proprio **valore di attenuazione** (un numero che indica quanto quel tessuto ha bloccato i raggi X).

La qualità finale dipende dal numero di proiezioni, dalla stabilità del detettore (dispositivo che rileva e converte una forma di energia - come luce, raggi X, calore - in un segnale elettrico. Nel nostro caso parliamo di raggi X) e dalla capacità del software di correggere artefatti.

Il voxel isotropico

Una delle caratteristiche notevoli della **CBCT** è la possibilità di ottenere **voxel isotropici**, cioè cubetti tridimensionali con lato di uguale lunghezza.

Questo consente misurazioni molto precise (senza distorsioni geometriche), ricostruzioni multiplanari affidabili (assiale, coronale, sagittale) e generazione di modelli 3D coerenti.

La **risoluzione del voxel** (0,09–0,4 mm) definisce direttamente il livello di dettaglio clinicamente osservabile.

FOV (Field of View) e sua importanza clinica

Il **FOV (Field of View)** rappresenta il **volume anatomico incluso nell'acquisizione**; si riferisce al campo di vista o alla porzione di volume anatomico che il sensore del tomografo può acquisire in una singola scansione

- **FOV** piccoli (4–5 cm) → ideali per endodonzia e regioni localizzate.
- **FOV** medi (7–10 cm) → permettono lo studio di un'intera arcata.
- **FOV** grandi (>15 cm) → consentono lo studio cranio-facciale completo.

Il **FOV** deve essere selezionato con cura: più grande è il **FOV**, maggiore è la dose, ma anche maggiore è la quantità di informazione disponibile.

Detettori: IIT/CCD vs Flat Panel

I sistemi CBCT storici utilizzavano detettori di tipo IIT/CCD:

IIT (Image Intensifier Tube) = tubo intensificatore di immagine, una tecnologia analogica che amplifica i raggi X.

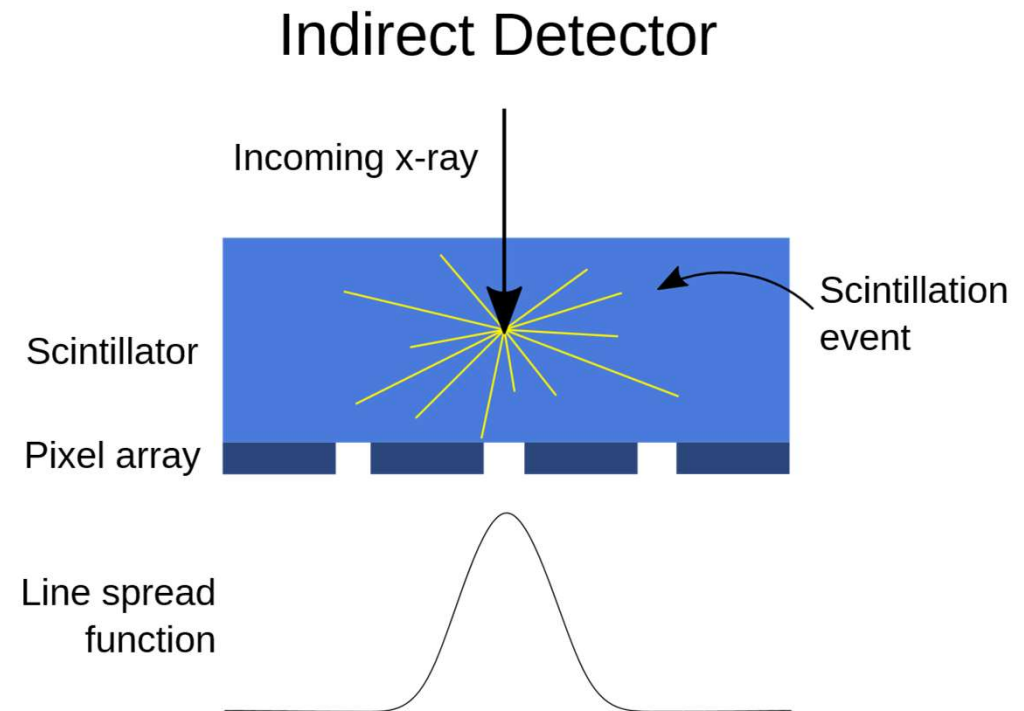
CCD (Charge Coupled Device) = sensore digitale che acquisisce l'immagine prodotta dall'IIT.

Questa combinazione, pur innovativa all'epoca, era **sensibile a distorsioni geometriche**, non garantiva una perfetta uniformità del segnale e poteva mostrare **instabilità** nel tempo (ad esempio fenomeni di “vignettatura” o deformazioni radiali).

Detettori: IIT/CCD vs Flat Panel

Le apparecchiature moderne utilizzano invece detettori a **Flat Panel Detector (FPD)**, basati su materiali **scintillatori** come il **CsI (Ioduro di Cesium)**.

Questi detettori permettono una conversione molto più efficiente dei raggi X in segnale digitale



Detettori: IIT/CCD vs Flat Panel

Questi detettori permettono una conversione molto più efficiente dei raggi X in segnale digitale, offrendo:

migliore linearità del segnale, cioè risposta più stabile e prevedibile ai vari livelli di radiazione;

assenza di distorsioni geometriche, grazie alla struttura piatta e uniforme del pannello;

risoluzione spaziale superiore, utile soprattutto nelle applicazioni odontoiatriche ad alto dettaglio.

Per questi motivi, i **flat panel** rappresentano oggi **lo standard** per l'imaging dento-maxillo-facciale e hanno completamente sostituito i sistemi IIT nelle CBCT di nuova generazione.

Risoluzione spaziale (0.09–0.4 mm)

La **risoluzione spaziale della CBCT** è uno dei suoi **punti di forza**.

Valori di 0,09–0,2 mm permettono di visualizzare dettagli minuti come radici sottili, pareti canalari, corticali ossee e microlesioni.

Una risoluzione più alta aumenta la dose radiante e richiede maggiore stabilità del paziente.

L'operatore deve selezionare la dimensione del **voxel** in base al quesito clinico.

Visualizzazione: MPR, sezioni e panoramiche sintetiche

Il volume ricostruito permette di **generare** le seguenti visualizzazioni:

- **MPR (Multi-Planar Reformation/Reconstruction)**: assiale, coronale, sagittale;
- Sezioni curve lungo l'arcata dentale;
- Panoramiche sintetiche (panorex) ottenute dal volume, utili per visualizzazioni equivalenti alla OPT ma prive di molte distorsioni.

Queste modalità consentono una valutazione estremamente flessibile e completa.

MPR (Multi Planar Reconstruction)

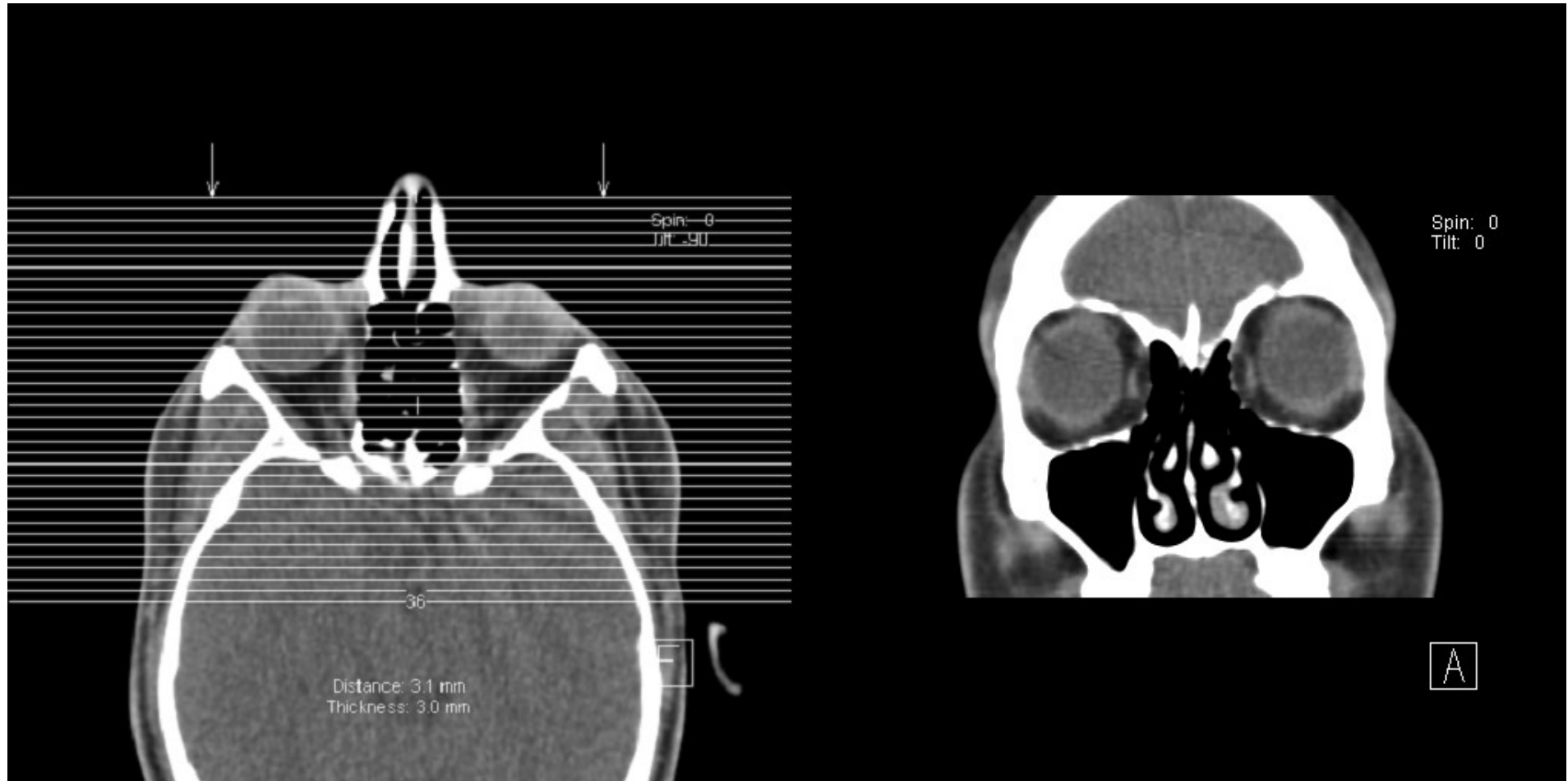


Immagine TC dei seni paranasali: a sinistra i dati assiali utilizzati per pianificare la ricostruzione, a destra la ricostruzione coronale (frontale) ottenuta tramite MPR.

Ricostruzioni 3D: SSD, MIP e rendering volumetrico

La **CBCT** permette **ricostruzioni tridimensionali** mediante **metodi di visualizzazione basati su algoritmi di rendering**, tra cui:

- **SSD (Surface Shaded Display)**: ricostruzione che mostra le superfici ossee, simulando un modello 3D.
- **MIP (Maximum Intensity Projection)**: mette in evidenza le strutture più dense, utile per osservare zone di maggiore attenuazione.
- **Rendering volumetrico**: rappresenta l'intero volume anatomico con gradienti di colore e trasparenza, particolarmente utile in chirurgia guidata e nelle analisi complesse.

Nonostante la loro utilità, le ricostruzioni 3D non sostituiscono la diagnosi, che viene sempre eseguita sulle sezioni **MPR (Multi-Planar Reconstruction)**.

Cosa sono i valori HU (Hounsfield Units)

Gli **HU** sono la scala numerica utilizzata nella TC convenzionale per descrivere **l'attenuazione dei raggi X da parte dei tessuti**.

Ogni voxel riceve un valore HU che rappresenta la sua densità radiologica.

Nella TC medica questi valori sono riproducibili e standardizzati.

- air (aria): -1000 HU
- bone, cortical (osso corticale): >1000 HU
- bone, trabecular (osso trabecolare): 300–800 HU
- brain, grey matter (cervello, materia grigia): ~40 HU
- brain, white matter (cervello, materia bianca): ~30 HU
- subcutaneous fat (grasso sottocutaneo): -100 / -115 HU
- liver (fegato): 45–50 HU
- lungs (polmoni): -950 / -650 HU
- metal (metalli): >3000 HU
- muscle (muscolo): 45–50 HU
- renal cortex (corteccia renale): 25–30 HU
- spleen (milza): 40–45 HU
- water (acqua): 0 HU (per definizione)

Fonte: radiopaedia.org

Limiti della CBCT: scala di grigi e HU

A differenza della **TC** convenzionale, **la CBCT non produce valori HU affidabili.**

La scala dei grigi varia in base a posizione, scattering e caratteristiche del detettore, rendendo impossibile dedurre una densità assoluta del tessuto.

Questo limita l'uso della **CBCT** per studi densitometrici ossei, pur non inficiandone la grande utilità morfologica e anatomica.

Perché la CBCT non può usare correttamente gli HU

La CBCT non fornisce valori HU affidabili perché manca una calibrazione assoluta del fascio (acqua/aria), il fascio conico genera molto scattering, i detectori flat panel non hanno linearità dosimetrica e gli algoritmi di ricostruzione sono ottimizzati per la morfologia, non per la densitometria.

Implicazioni cliniche

La CBCT è eccellente per osservare dettagli anatomici fini, per la pianificazione implantare, per valutare rapporti ossei e dentali e per generare ricostruzioni 3D precise.

Non è invece affidabile per misurare la densità ossea, stimare valori HU in implantologia o confrontare nel tempo la “densità” di un tessuto.

Gli stessi voxel possono variare il proprio valore HU in funzione di FOV, dose, tipo di detector, software e posizione dell’oggetto nel campo.

Applicazioni cliniche: implantologia digitale

La **CBCT** è lo standard per la pianificazione implantologica, poiché consente:

- valutazione precisa dell'osso residuo,
- individuazione del canale mandibolare e dei seni mascellari,
- scelta di dimensione, inclinazione e profondità degli impianti,
- generazione di guide chirurgiche tramite software dedicati.

È uno strumento imprescindibile per implantologia moderna e computer-guidata.

Applicazioni cliniche: endodonzia

La **CBCT** è molto più sensibile dell'endorale nel rilevare:

- lesioni periapicali precoci,
- canali accessori non visibili,
- fratture radicolari,
- rapporti con strutture anatomiche critiche.

Offre informazioni che la radiografia 2D non può fornire a causa della sovrapposizione dei piani.

Applicazioni cliniche: ortognatodonzia

La **CBCT** è utile nelle fasi avanzate della pianificazione ortodontica e ortognatica, soprattutto quando:

- l'anatomia è complessa,
- sono presenti denti inclusi, ectopici o sovranumerari,
- occorre valutare lo spessore osseo vestibolare e linguale,
- serve una simulazione chirurgica.

Non è però un esame di primo livello.

Applicazioni cliniche: ATM (Articolazione Temporo-Mandibolare)

La **CBCT** fornisce immagini ad alta risoluzione delle componenti ossee dell'articolazione temporo-mandibolare, consentendo di riconoscere:

- erosioni
- osteofiti (piccole escrescenze ossee che si formano ai margini delle articolazioni quando c'è degenerazione o sovraccarico.)
- anomalie congenite
- fratture

È molto superiore all'OPT (Ortopantomografia), ma non sostituisce la risonanza magnetica per la valutazione del disco articolare (nella ATM).

Dose radiante: confronto numerico

Valori tipici Valori tipici espressi in microsievert (μSv):

(Il microsievert è un'unità che misura l'effetto biologico della radiazione sul corpo umano.)

- Endorale: 1–8 μSv
- Panoramica (OPT): 4–30 μSv
- **CBCT** piccolo **FOV**: 34–652 μSv
- **CBCT** grande **FOV**: 30–1079 μSv

La **CBCT** espone a più radiazioni rispetto alle 2D, ma a molto meno rispetto alla **TC** convenzionale, a parità di distretto.

Fonti principali:

1. Ludlow JB, Ivanovic M. Comparing exposure levels of dental radiographic imaging devices: a review of current literature. J Am Dent Assoc. 2008;139(9):1237–1243.
2. Ludlow JB, Timothy R, Walker C, Hunter R, Benavides E, Samuelson DB, Scheske M. Effective dose of dental CBCT: a meta-analysis. Dentomaxillofac Radiol. 2015;44:20140197.
3. European Commission. Radiation Protection Series No. 172. Cone Beam CT for Dental and Maxillofacial Radiology (Evidence-Based Guidelines).
4. HPA-CRCE-010. UK Health Protection Agency. Radiation doses from dental X-ray examinations.
5. Radiopaedia.org. Dose reference ranges.

Come ridurre la dose

Principali strategie operative:

- selezione del **FOV** più piccolo possibile,
- utilizzo di **voxel** più grandi quando clinicamente accettabile,
- riduzione di **mA** e **tempo di esposizione**,
- utilizzo del **fascio pulsato**, quando previsto dall'apparecchiatura, per ridurre la dose mantenendo la qualità diagnostica;
- eliminazione di scansioni non necessarie.

La dose deve essere sempre giustificata e ottimizzata secondo il principio **ALARA**.

Quando NON usare la CBCT

Non va richiesta quando:

- una semplice radiografia 2D risponde al quesito,
- si desidera solo una valutazione di routine,
- non esiste un'indicazione clinica chiara.

Le raccomandazioni ministeriali italiane sottolineano la necessità di appropriatezza, specialmente in età pediatrica.

CBCT e DICOM

Le immagini **CBCT** devono essere sempre esportate in **DICOM**, che include:

- immagine,
- metadati clinici,
- dati geometrici,
- parametri tecnici,
- informazioni medico-legali.

Il formato JPEG “puro” non conserva nulla di ciò ed è inadatto per refertazione, archivio o confronto temporale.

Integrazione con PACS e pianificazione digitale

La **CBCT**, salvata in **DICOM**, entra nel flusso **PACS** come qualsiasi altra metodica radiologica.

Da qui può essere:

- analizzata dai radiologi,
- utilizzata dai software implantologici,
- integrata con scansioni intraorali,
- esportata su sistemi CAD/CAM per guide chirurgiche.

La **CBCT** è al centro del workflow digitale moderno.

Punti chiave per l'igienista dentale

La **CBCT** fornisce un vero 3D, senza sovrapposizioni.

Il **FOV** determina dose e informazioni ottenute.

Il **voxel** isotropico assicura misure estremamente precise.

Non è un esame di routine: la richiesta deve essere giustificata.

Va sempre registrata in **DICOM**, mai in JPEG "diretto".

È fondamentale conoscere limiti, vantaggi e indicazioni appropriate.

Workflow moderno delle immagini

Il **workflow moderno delle immagini diagnostiche** in odontoiatria parte dall'acquisizione (CBCT, panoramica, endorale digitale) e prosegue attraverso una sequenza ordinata di fasi che garantiscono qualità, sicurezza e tracciabilità.

L'immagine viene generata in formato **DICOM**, che contiene sia i **pixel** sia i **metadati tecnici e clinici** necessari alla corretta interpretazione.

Workflow moderno delle immagini

Il sistema di acquisizione invia automaticamente il file al **PACS** tramite protocolli standard (C-STORE), evitando operazioni manuali rischiose come esportazioni su chiavette o JPEG.

In questa fase vengono registrati: identificativo del paziente, data, apparecchiatura, parametri espositivi e geometria di acquisizione.

L'esame entra quindi nel sistema informativo con un flusso che garantisce integrità, non alterabilità e disponibilità immediata per tutti gli operatori autorizzati.

Un workflow corretto evita smarrimenti, duplicazioni, errori diagnostici e migliora la qualità complessiva del processo clinico.

Archiviazione e distribuzione nel PACS

Il **PACS (Picture Archiving and Communication System)** è il cuore del workflow diagnostico moderno, perché archivia, organizza e distribuisce gli esami in tutta l'azienda sanitaria.

Ogni immagine DICOM viene archiviata insieme ai suoi metadati e collegata alle richieste RIS e ai referti, garantendo tracciabilità completa.

Il PACS permette ricerche rapide tramite funzioni di **query/retrieve** e consente di confrontare facilmente esami eseguiti in date diverse.

Archiviazione e distribuzione nel PACS

A differenza dei CD, che si possono perdere o danneggiare, il PACS offre una **disponibilità continua** su tutte le workstation cliniche abilitate.

Gli igienisti dentali possono così accedere a immagini storiche, valutare l'evoluzione di una patologia e collaborare in modo più efficace con i clinici.

Inoltre, il PACS applica politiche di **backup**, **ridondanza** e **controllo degli accessi**, rispettando gli standard di sicurezza e privacy.

Invio sicuro e teleradiologia

Quando le immagini devono essere condivise con specialisti esterni, la trasmissione **deve avvenire in modo sicuro e in conformità alle normative sulla privacy.**

L'invio tramite email o applicazioni di messaggistica (come **WhatsApp**) è vietato, perché comporta perdita di metadati, compressioni non controllate e violazioni del GDPR.

Invio sicuro e teleradiologia

Lo strumento corretto è una piattaforma di **teleradiologia** certificata, che permette di inviare file DICOM completi, criptati e tracciati.

Il consulente può quindi visualizzare le immagini con un **viewer diagnostico** che rispetta la scala di grigi e le impostazioni originali.

Questo consente valutazioni accurate, responsabilità clinica e integrazione ordinata dei referti nel sistema aziendale.

La teleradiologia è oggi una componente essenziale della pratica moderna, soprattutto nei casi complessi o multidisciplinari.

Invio non sicuro tramite WhatsApp

WhatsApp non è compatibile con il GDPR per dati sanitari perché:

- **non** è un sistema sanitario **certificato**, manca il Data Processing Agreement;
- possibile trasferimento di dati/metadati **fuori dall'UE**;
- la cifratura E2E (End to End) non protegge backup, screenshot e file salvati sui dispositivi;
- **smartphone non controllati** → rischio elevato di accesso non autorizzato;
- **nessuna tracciabilità** (audit log) delle consultazioni;
- impossibilità di garantire la cancellazione del dato;
- rischio elevato di inoltri non intenzionali.

Refertazione e integrazione nel sistema informativo

Una volta archiviata l'immagine, il **referto** rappresenta la conclusione formale del processo diagnostico.

Il radiologo referta direttamente dal **viewer PACS**, in modo da vedere le immagini nelle migliori condizioni tecniche e con accesso a tutti i metadati. Il referto viene poi collegato all'esame attraverso il **RIS (Radiology Information System)**, generando un accoppiamento stabile e non alterabile tra immagine e diagnosi.

Gli igienisti dentali possono consultare i referti e visualizzare le immagini nella stessa piattaforma, garantendo continuità clinica nel follow-up dei pazienti. Questa integrazione consente comunicazione immediata tra i professionisti, riduce i tempi di gestione e assicura che nessuna informazione vada perduta. Infine, il sistema registra ogni accesso e modifica, garantendo trasparenza, audit trail e qualità del dato sanitario.

Il workflow completo in sintesi

Il processo moderno si articola in 5 passaggi chiave:

- **Acquisizione** in DICOM con parametri tecnici completi.
- **Trasferimento automatico** al PACS tramite protocolli standard.
- **Archiviazione** centralizzata con backup e gestione della privacy.
- **Refertazione** integrata RIS/PACS.
- **Condivisione controllata** con teleradiologia e accesso multidisciplinare.

Questo modello garantisce qualità diagnostica, sicurezza, tracciabilità, riduzione degli errori e gestione ottimale del percorso clinico.

Rappresenta lo standard assoluto nell'imaging sanitario moderno ed è essenziale che gli igienisti dentali lo conoscano, perché sempre più coinvolti nella gestione e interpretazione delle immagini digitali.

Dalla diagnostica 2D alla 3D e oltre

La diagnostica radiologica si è evoluta da immagini **2D** (endorale, panoramica) a sistemi **3D** come la CBCT, che permettono una rappresentazione volumetrica dell'anatomia.

Il passaggio a dati tridimensionali ha cambiato la modalità di lettura, permettendo analisi più precise delle strutture ossee e una pianificazione più accurata.

Dalla diagnostica 2D alla 3D e oltre

La fase successiva è la diagnostica **4D**, dove il quarto elemento è il **tempo**: si osservano strutture in movimento, come articolazioni o tratteggi funzionali.

Questi sviluppi sono resi possibili dall'aumento della potenza di calcolo e dalla disponibilità di algoritmi avanzati.

Per gli igienisti, comprendere questa evoluzione significa sapere quali tecnologie sono disponibili, quali vantaggi offrono e quali limiti mantengono.

Il futuro della diagnostica sarà sempre più basato su dati volumetrici, dinamici e integrati con software intelligenti.

Cos'è l'Intelligenza Artificiale nella diagnostica

L'**Intelligenza Artificiale (AI)** in diagnostica medica indica un insieme di programmi informatici capaci di analizzare immagini radiologiche e riconoscere pattern che spesso sfuggono all'occhio umano.

La forma più diffusa è il **Machine Learning**, cioè algoritmi che “imparano” dai dati: più immagini vengono analizzate, più l'algoritmo migliora nella capacità di riconoscere forme, tessuti, anomalie o variazioni nel tempo.

Cos'è l'Intelligenza Artificiale nella diagnostica

In odontoiatria l'AI viene già utilizzata per individuare lesioni periapicali, perdita ossea, carie interprossimali e variazioni anatomiche.

Non sostituisce il clinico, ma offre un supporto decisionale, evidenziando zone da controllare con attenzione.

Per gli igienisti, conoscere questi strumenti significa saper interpretare suggerimenti automatici senza considerarli diagnosi, ma come un'estensione della propria osservazione clinica.

Deep Learning: perché è importante capirlo anche senza essere ingegneri

Il **Deep Learning** è una forma avanzata di Machine Learning che utilizza strutture chiamate “reti neurali”, ispirate al funzionamento del cervello umano.

Queste reti analizzano l'immagine in più livelli successivi, riconoscendo linee, forme, strutture e configurazioni complesse.

Questo tipo di tecnologia ha permesso enormi progressi nella diagnostica, perché è in grado di riconoscere anomalie con una precisione molto elevata, anche quando sono poco visibili.

Deep Learning: perché è importante capirlo anche senza essere ingegneri

Nella pratica, significa software che individuano carie iniziali, radici accessorie, riassorbimenti, alterazioni dell'osso, oppure suggeriscono misure e angolazioni.

Gli igienisti non devono conoscere l'algoritmo matematico, ma devono capire che **il Deep Learning è affidabile solo se allenato con dataset adeguati**, e che produce “aiuti”, non diagnosi definitive.

Riduzione dose grazie agli algoritmi intelligenti

Una delle innovazioni più importanti è la **riduzione della dose radiante** tramite software.

Nuovi algoritmi riescono a ricostruire immagini di buona qualità anche quando la macchina utilizza parametri di esposizione molto più bassi del passato.

Tecniche come il “**denoising**” (riduzione del rumore) o la ricostruzione iterativa eliminano artefatti e grana, rendendo l’immagine più pulita senza aumentare la radiazione al paziente.

Riduzione dose grazie agli algoritmi intelligenti

In futuro, sarà possibile ottenere volumi CBCT informativi con dosi simili a una panoramica.

Per gli igienisti questo significa conoscere i protocolli a bassa dose, sapere quando usarli e comprendere che la qualità dell'immagine non dipende solo dal tempo di esposizione, ma anche dalla capacità del software di ricostruire dati parziali in modo affidabile.

Ricostruzioni avanzate: dal 3D statico al 4D dinamico

Le ricostruzioni avanzate permettono di creare modelli tridimensionali sempre più realistici e utilizzabili nella pratica clinica.

Le tecniche di **rendering volumetrico**, **MIP (Maximum Intensity Projection)**, **SSD (Surface Shaded Display)** e modelli 3D completi sono ormai standard; stanno però emergendo ricostruzioni **4D**, che integrano informazioni sul movimento, utili per articolazioni come l'**ATM (articolazione temporo-mandibolare)**.

Le ricostruzioni dinamiche permettono di confrontare anatomie in momenti diversi, osservare cambiamenti funzionali ed eseguire misurazioni temporali.

Per l'igienista, questo significa imparare a navigare **dataset** complessi, comprendere come orientare un volume e come interpretare informazioni provenienti da più piani nello spazio e nel tempo.

CBCT e AI: una combinazione che cambierà la pratica clinica

CBCT e AI sono destinate a integrarsi sempre di più. La CBCT fornisce un dataset volumetrico ricco; l'AI interpreta automaticamente parti di questo dataset, segnala aree sospette e suggerisce misure o ricostruzioni utili.

I software di nuova generazione identificano la morfologia radicolare, propongono il posizionamento implantare, riconoscono strutture anatomiche critiche e confrontano esami eseguiti nel tempo.

Per l'igienista, questa integrazione significa maggiore precisione nell'analisi preliminare, migliore comunicazione con il clinico e riduzione degli errori.

È importante, però, ricordare che **l'AI è uno strumento assistivo: aiuta, ma non sostituisce la valutazione professionale.**

Verso una diagnostica aumentata: cosa aspettarsi nei prossimi anni

La diagnostica si muove verso un modello “aumentato”, dove AI, 4D, CBCT e software intelligenti collaborano in modo integrato.

Vedremo sistemi che ricostruiscono automaticamente il nervo alveolare, tracciano radici e misurano la densità ossea relativa; **algoritmi** che suggeriscono protocolli di esposizione ottimali; **viewer** che evidenziano automaticamente anomalie e zone sospette.

L'igienista dentale avrà un ruolo più tecnico e più consapevole: non si limiterà a vedere l'immagine, ma capirà il processo con cui l'immagine è stata prodotta e interpretata dal software.

Il futuro non sostituirà il professionista: lo renderà più forte, più sicuro e più preciso.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Immagini tratte (ove non diversamente specificato) da Wikipedia e Wikimedia Commons, utilizzate a fini didattici e non commerciali. Tutte le immagini restano soggette alle rispettive licenze libere (CC BY, CC BY-SA, CC0 o pubblico dominio).