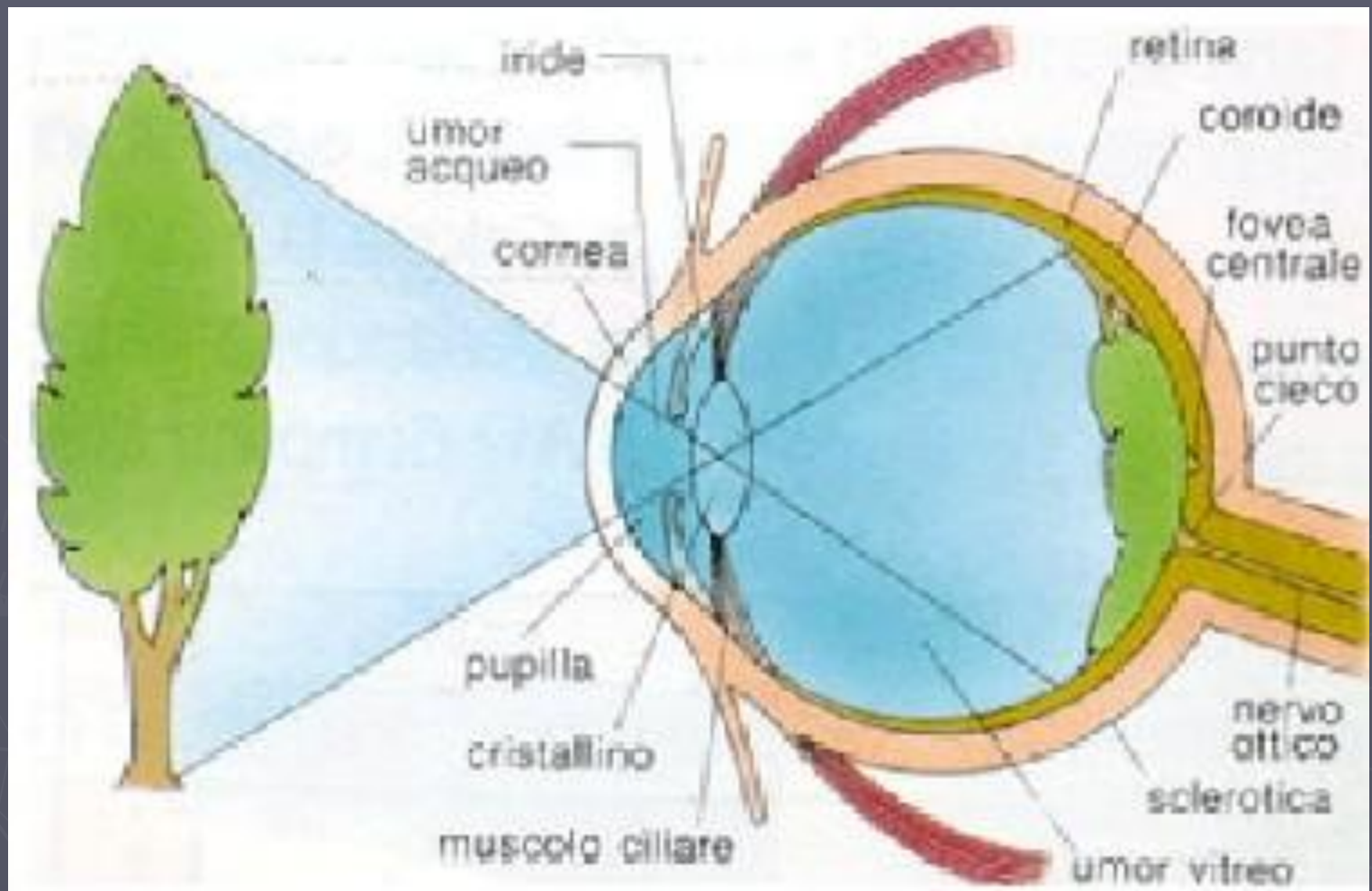
The background of the slide features a faint, light-colored compass rose on the left side, with the letter 'N' indicating North. To the right of the compass is a stylized topographic map with various contour lines and shapes. The overall background is a dark, muted blue-grey color.

Immagini radiologiche analogiche e digitali: caratteristiche fisiche, dose e qualità

La formazione dell'immagine

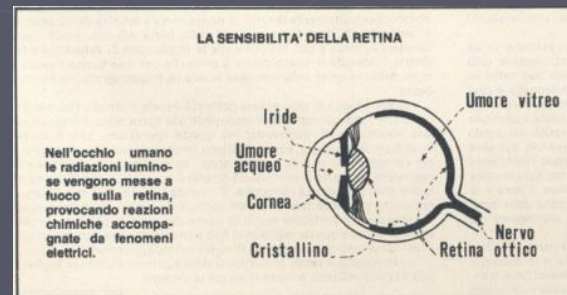
- ▶ **E' universalmente noto come l'osservazione di un'immagine da parte del sistema visivo umano (SVU), che è un sistema analogico, coinvolga essenzialmente TRE ELEMENTI:**
- ▶ **L'occhio dell'osservatore;**
- ▶ **L'oggetto da osservare;**
- ▶ **la sorgente luminosa che illumina l'oggetto;**



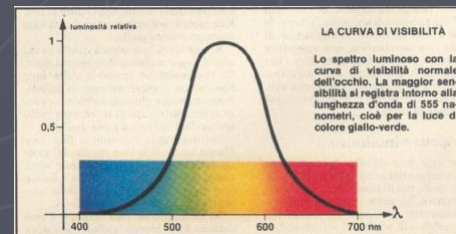
Nello specifico, nella visione umana la sorgente è costituita dal sole, il cui spettro visibile contiene componenti di λ variabile tra 400 e 700 μm che, dopo essere parzialmente modificate a seguito della riflessione da parte dell'oggetto,



incidono sul rivelatore costituito dall'occhio,

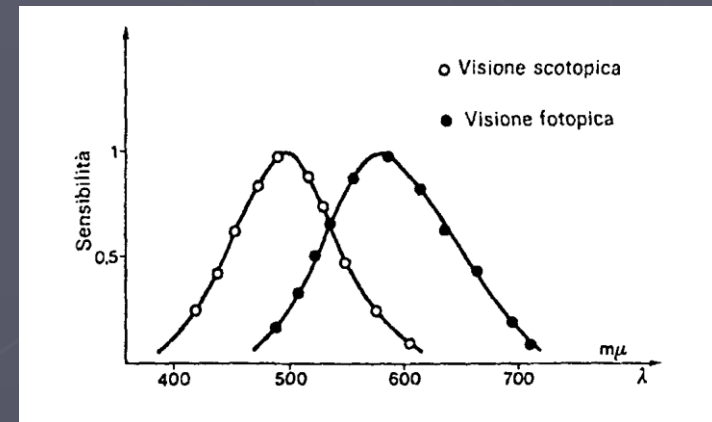


che è caratterizzato da una sensibilità diversa a seconda della lunghezza d'onda delle radiazioni che lo stimolano



e della loro intensità, tant'è che le curve di sensibilità sono diverse per le due visioni fotopica o diurna e per quella scotopica o notturna: entrambe hanno il medesimo andamento, e presentano un massimo che per la visione fotopica cade tra il verde e l'arancione e per quella scotopica tra l'indaco ed il verde.

La risposta decresce più o meno simmetricamente per le lunghezze d'onda maggiori e minori, e si riduce a zero ai due limiti del campo del visibile, dal lato dell'infrarosso e da quello dell'ultravioletto.



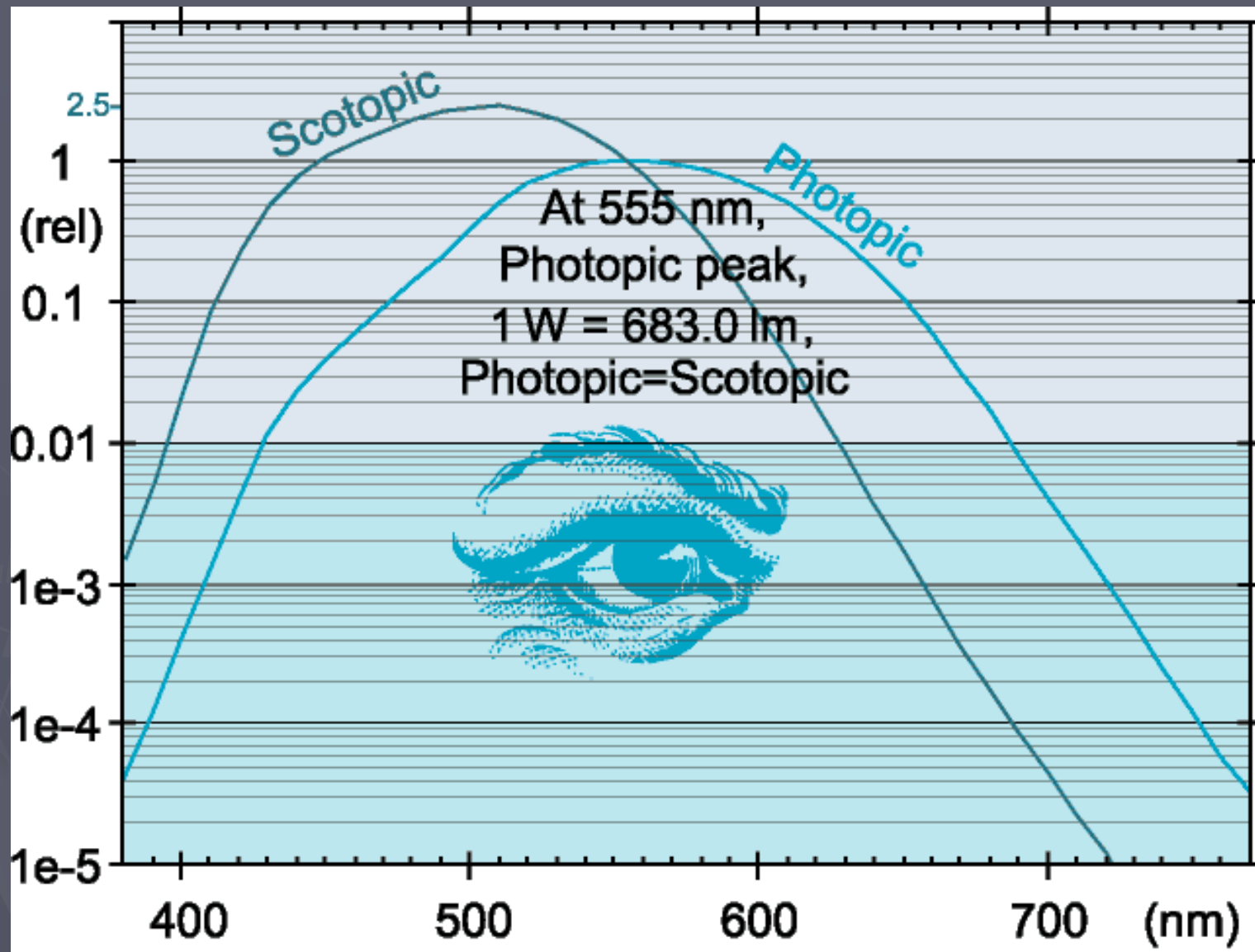


Fig. 2.3 CIE Photopic and Scotopic sensitivity curves.

Limiti visibilità

Esso ha dei limiti intrinseci, infatti:

- riesce a distinguere meno di 20 livelli di grigio;
- ha una risoluzione spaziale limitata dalle dimensioni dei coni e bastoncelli;
- ha una risposta spettrale alla luce che non è costante su tutto lo spettro;
- la risposta non è lineare in funzione dell'intensità della luce e dipende dalla direzione di questa;

Limiti di visibilità

Al di sotto di un certo livello di intensità luminosa e/o fuori dal range spettrale cui risulta sensibile, l'occhio umano non è in grado di rivelare le radiazioni che lo raggiungono, e l'uomo è praticamente cieco.

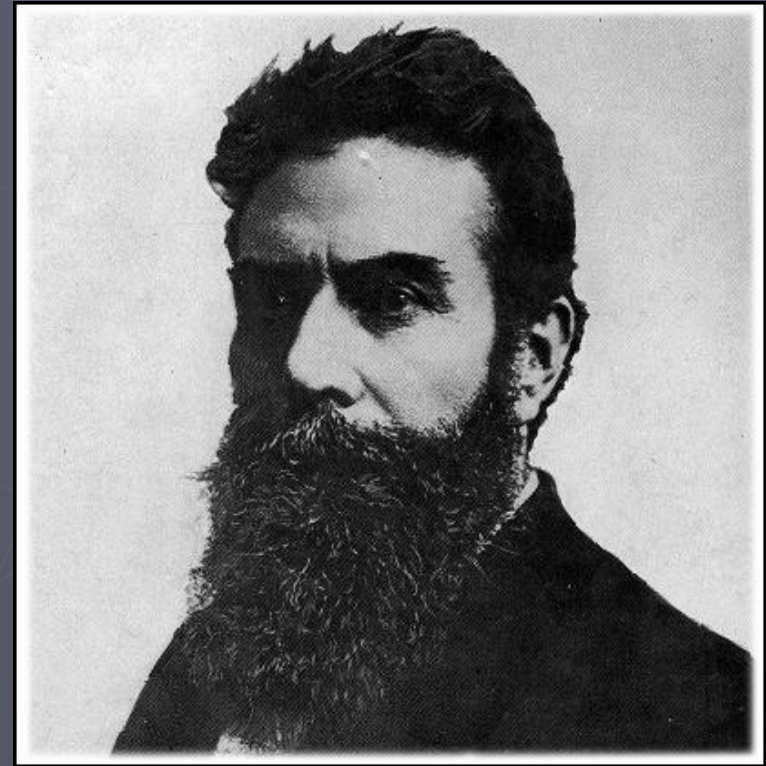
Caratteristiche immagini radiologiche

- ▶ Tali, per alcuni versi banali, premesse, rivestono natura propedeutica per le considerazioni che andremo a sviluppare in merito ai fattori che influenzano la dose di radiazioni cui risulta esposto il paziente che viene sottoposto ad un'indagine radiodiagnostica ed all'analisi delle immagini diagnostiche che il radiologo si trova a refertare.

Caratteristiche immagini radiologiche

- ▶ Anche in questo caso, infatti, ritroveremo i tre elementi cui abbiamo fatto prima riferimento, anche se cambierà la **natura della radiazione impiegata**, il **tipo di modificazione** che questa subirà nell'interazione con l'oggetto (il paziente) e le **caratteristiche del rivelatore** su cui l'immagine andrà a formarsi, elementi questi che concorreranno ad influenzare la **quantità di energia (dose)** di radiazioni cui risulterà esposto il paziente sottoposto ad indagini che rientrano nel campo della **diagnostica per immagini**

E' unanimemente
condiviso come la
scoperta dei raggi X
fatta da Roentgen abbia
inaugurato il nuovo
campo della



diagnostica medica per immagini

Gli ambiti della Diagnostica per immagini

comprendono
l'esecuzione di
esami diagnostici
di vario tipo



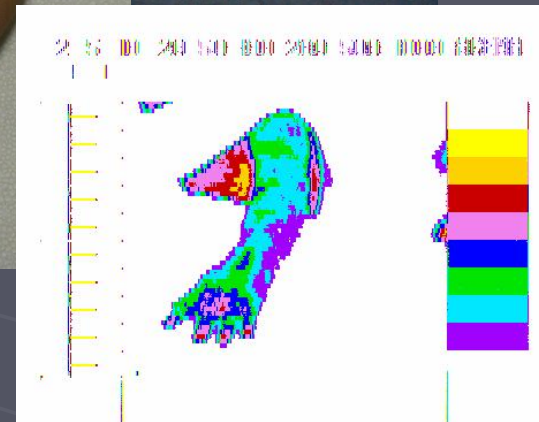
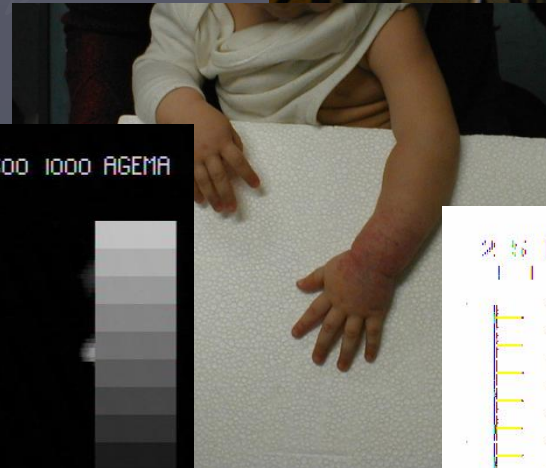
La diagnostica per immagini

Ecografia



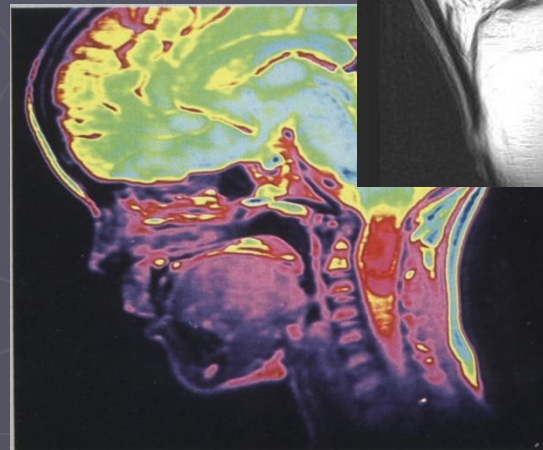
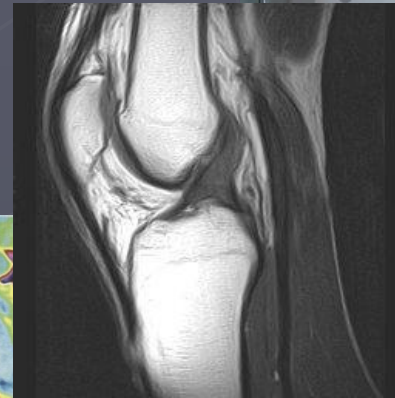
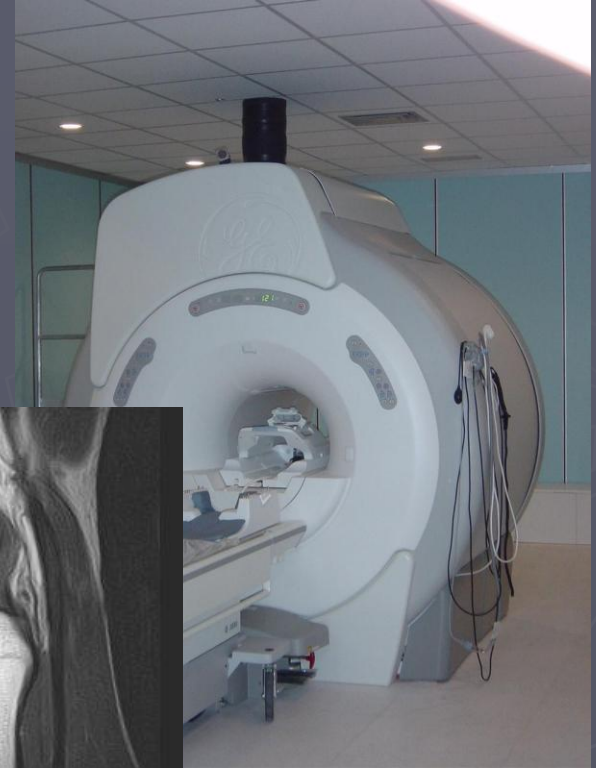
La diagnostica per immagini

Teletermografia



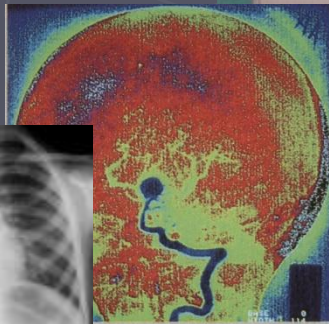
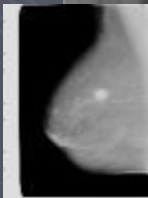
La diagnostica per immagini

Risonanza
Magnetica



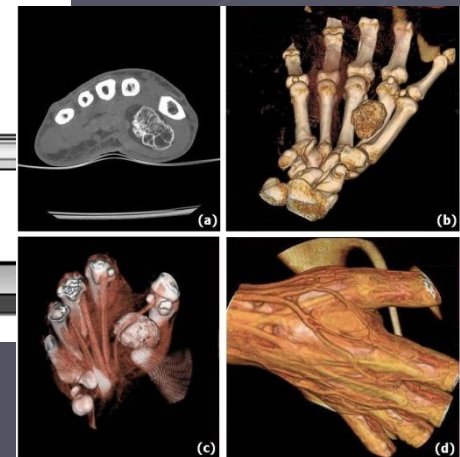
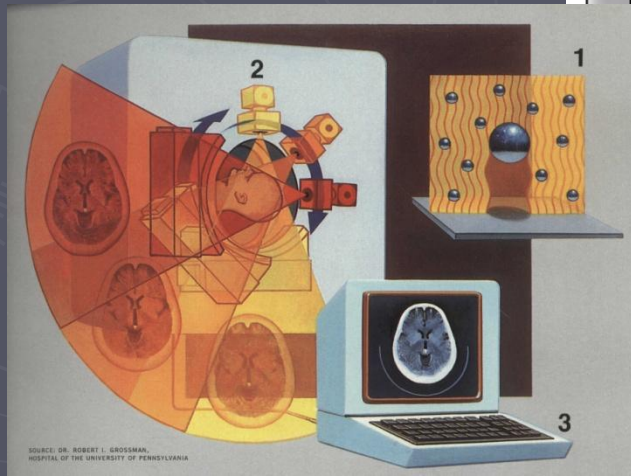
La diagnostica per immagini

Radiologia
convenzionale



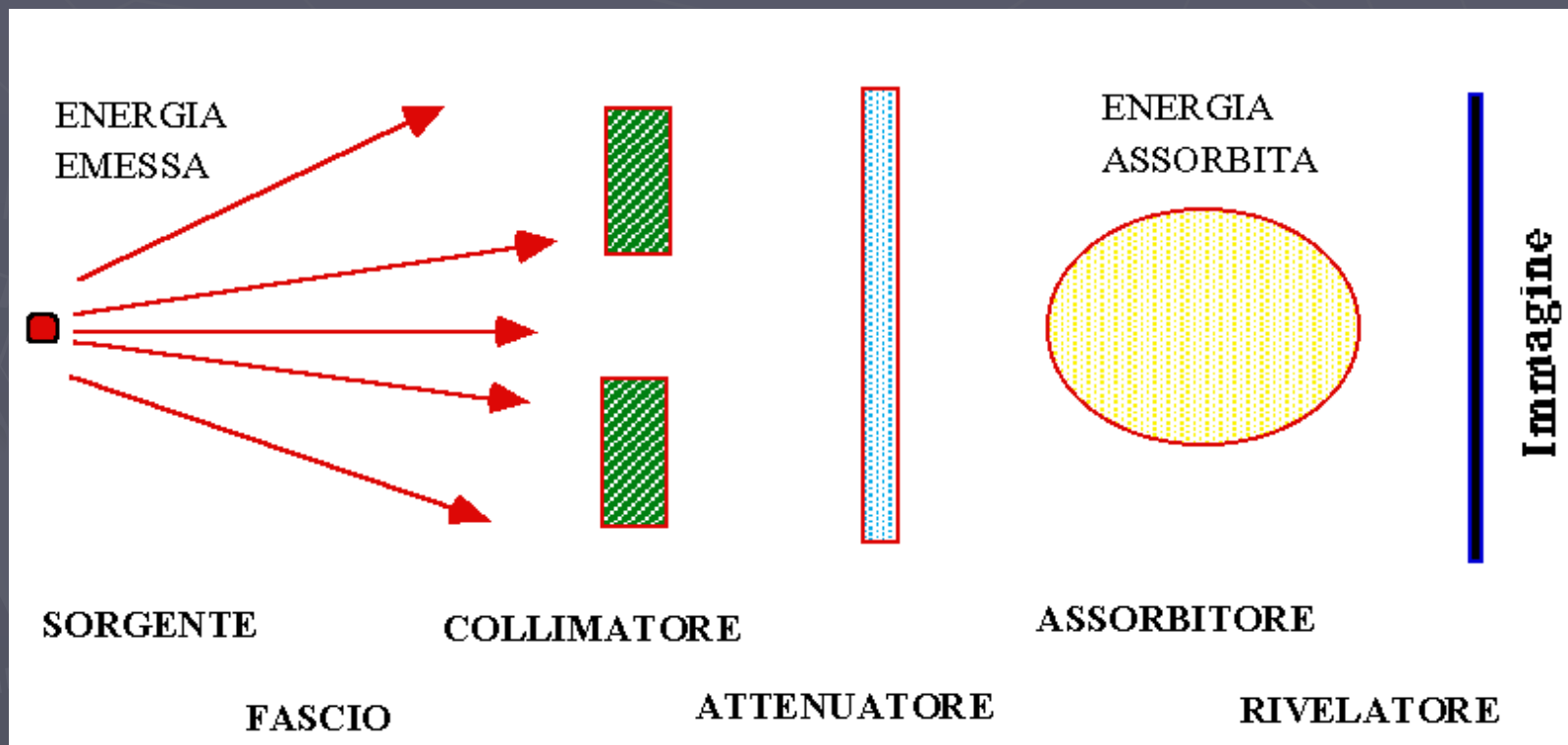
La diagnostica per immagini

Tomografia
Computerizzata



Imaging

- Possiamo facilmente notare come in tali pratiche diagnostiche si possano individuare i tre elementi prima citati



Tipi di sorgenti

Profondamente diverse saranno, però, il **tipo di sorgenti impiegate** e, quindi, la natura delle radiazioni da esse emesse, che nell'interazione con l'oggetto subiranno a loro volta differenti modificazioni, provocando al contempo effetti di varia natura.

Tipi di radiazioni

- ▶ Ecografia: radiazioni U.S.
- ▶ Risonanza Magnetica: Onde Radio
- ▶ Radiologia convenzionale e TAC: radiazioni X

Tipi di radiazioni

- ▶ Di tutte queste Pratiche, la RMN, e la Diagnostica Radiologica utilizzano Radiazioni elettromagnetiche, aventi quindi la stessa natura, ma proprietà notevolmente differenti, sia per quanto riguarda la loro produzione che la relativa interazione con le strutture biologiche che compongono il corpo umano

Campo di radiazione

- ▶ In tutti i casi, però, è sempre presente un **campo di radiazioni** che, emesso dalla sorgente, incide sul paziente e, considerato che per definizione

Radiazione = Trasferimento di energia da un punto ad un altro nello spazio senza il necessario supporto del mezzo materiale in cui avviene la propagazione

Campo di radiazione

- ▶ In tutti i casi, però, è sempre presente un **campo di radiazioni** che, emesso dalla sorgente, incide sul paziente e, considerato che per definizione

Radiazione = Trasferimento di energia da un punto ad un altro nello spazio senza il supporto del mezzo materiale in cui avviene la propagazione

Assorbimento di energia

- ▶ l'oggetto sottoposto ad indagine si troverà ad interagire con la radiazione emessa dalla sorgente, che *nell'interrogarlo* per estrarre le informazioni cui si mira, subirà delle *modificazioni, cedendo* al contempo all'oggetto parte della energia trasportata dal fascio, che costituirà quella che tecnicamente prende il nome di "*dose di radiazioni assorbita*"

Assorbimento di energia

- ▶ Ogni tecnica d'indagine "vede" parte delle proprietà dell'oggetto indagato, in relazione alle caratteristiche delle radiazioni impiegate
- ▶ Il paziente può essere considerato come una struttura chimico-fisica complessa distribuita nello spazio e variabile nel tempo

Raggi X

- ▶ Nel caso della radiologia convenzionale, le radiazioni coinvolte sono le ben note **radiazioni X**, dalle notorie proprietà **ionizzanti**, mentre l'indagine mira a determinare l'**attenuazione** subita dal fascio nell'interazione con il paziente

Raggi X

- ▶ I raggi X sono onde elettromagnetiche, ovvero fotoni, di energia pari o superiore a qualche decina di KeV, che non subiscono fenomeni di riflessione o rifrazione.
- ▶ Al contrario dei fotoni nel visibile, infatti, i raggi X non danno luogo praticamente a riflettività superficiale, ma solo sui piani atomici, e non subiscono rifrazione entrando in un mezzo, ma bensì attenuazione.

Attenuazione dei raggi X

- ▶ L'attenuazione dipende unicamente dalla concentrazione elettronica "totale" degli atomi che formano il mezzo ed è nettamente inferiore a quella dei raggi UV, atteso che i raggi X hanno energia tale da "strappare" gli elettroni anche da "strati" elettronici profondi in un atomo.

Attenuazione dei raggi X

- ▶ In pratica non esiste nessun "effetto" da parte del mezzo attraversato nel suo complesso, espresso dalla sua costante dielettrica. I raggi X, cioè, "vedono" solo i singoli atomi e non un mezzo omogeneo, e possono subire degli effetti di assorbimento "quantistici" legati ai livelli atomici, con conseguente attenuazione dell'intensità del fascio.

Attenuazione dei raggi X

- ▶ Determinando l'**attenuazione** che essi subiscono nell'attraversare la materia, si ottengono indicazioni dettagliate sulla geometria interna e sulla composizione degli oggetti
- ▶ Nell'interazione, però, la radiazione è in grado di produrre, direttamente o indirettamente, la **ionizzazione** degli atomi e delle molecole del mezzo attraversato

Interazione radiazione - materia

L'eccitazione è un processo mediante il quale energia viene trasferita all'atomo da parte della radiazione: questa energia aumenta il livello energetico dell'atomo ad uno stato eccitato, senza ionizzarlo

L'energia di eccitazione può anche produrre altri effetti nel mezzo, ma questi sono generalmente di natura diversa e sono considerati meno importanti degli effetti della ionizzazione

Assorbimento di energia

Assorbimento di un fotone



eccitazione

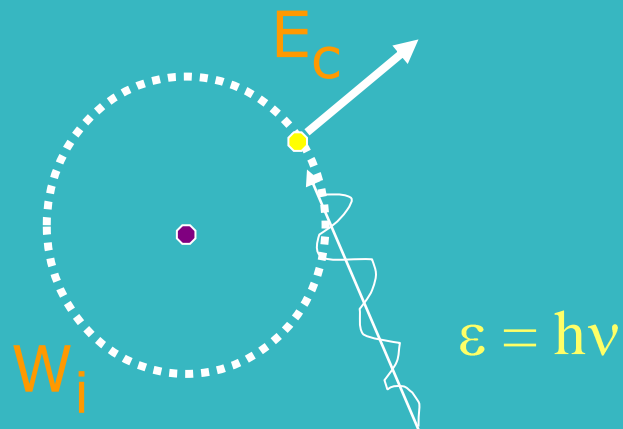
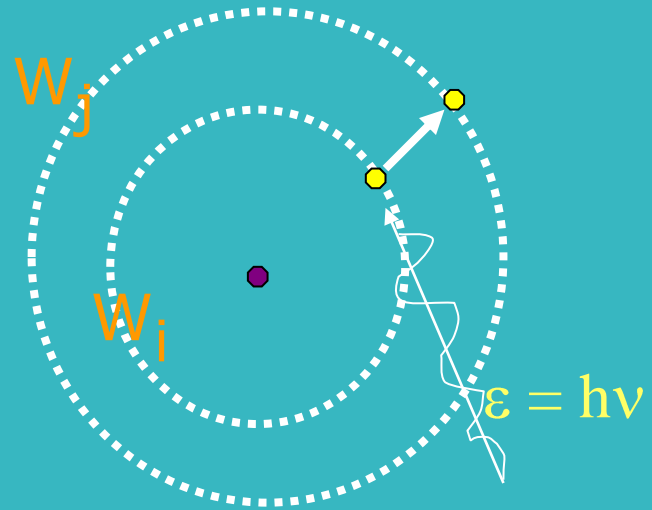
$$\varepsilon = W_i - W_j$$

Assorbimento di un fotone



ionizzazione

$$\varepsilon = W_i + E_c$$



Le radiazioni ionizzanti

- *I raggi X, invece, producono la cosiddetta ionizzazione del mezzo.*
- *“Ionizzare”* un atomo significa infatti cedergli energia per strappare uno o più elettroni dalla loro orbita intorno al nucleo: l'atomo non è più *“neutro”* ma diventa carico positivamente e si chiama *“ione”*. Il comportamento chimico dello ione è diverso da quello di un atomo neutro e questo altera il materiale (*ad es. una cellula*) di cui lo ione fa parte.

Formazione dell'immagine

Il riproduttore acquisisce dal rivelatore (o direttamente attraverso linee di segnale elettrico o in modo indiretto) il contenuto informativo che trasla in una immagine, che può essere presentata e memorizzata in vari modi:

- su pellicola

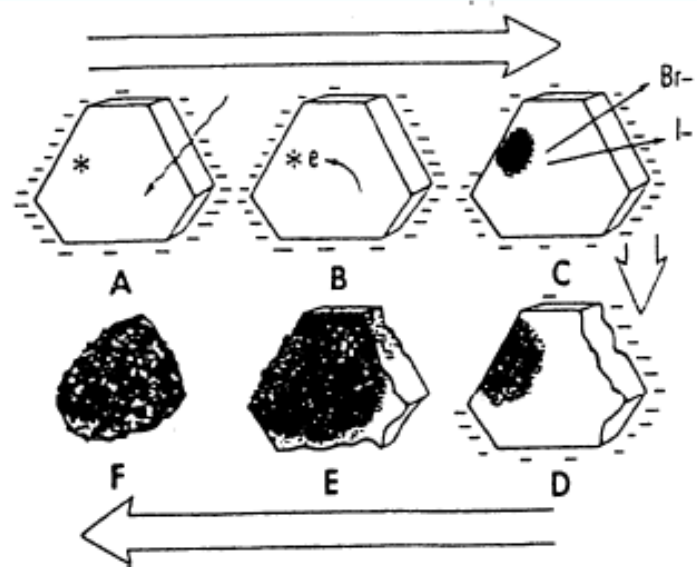
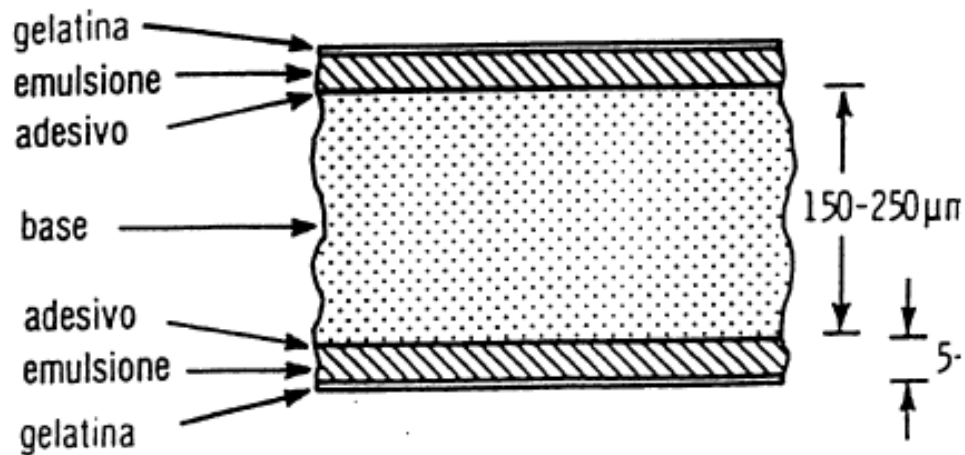
- su carta

- su video

- su memoria digitale.

Rivelatori convenzionali: LA PELLICOLA RADIOGRAFICA

La pellicola radiografica



Lo schermo di rinforzo

- Trasforma energia fascio X in luce
- Efficienza $< 1\%$

Rapidità: definisce l'efficienza di conversione della radiazione X in luce utilizzabile

Capacità di definizione: capacità di riprodurre sulla pellicola una distribuzione di luce visibile la più simile possibile a quella dei raggi X incidenti

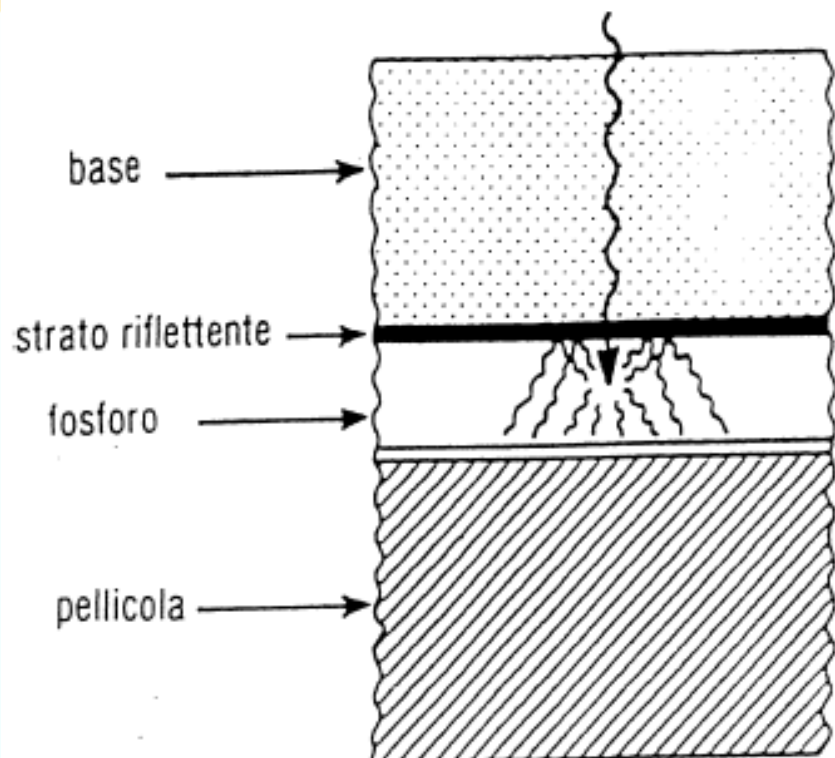
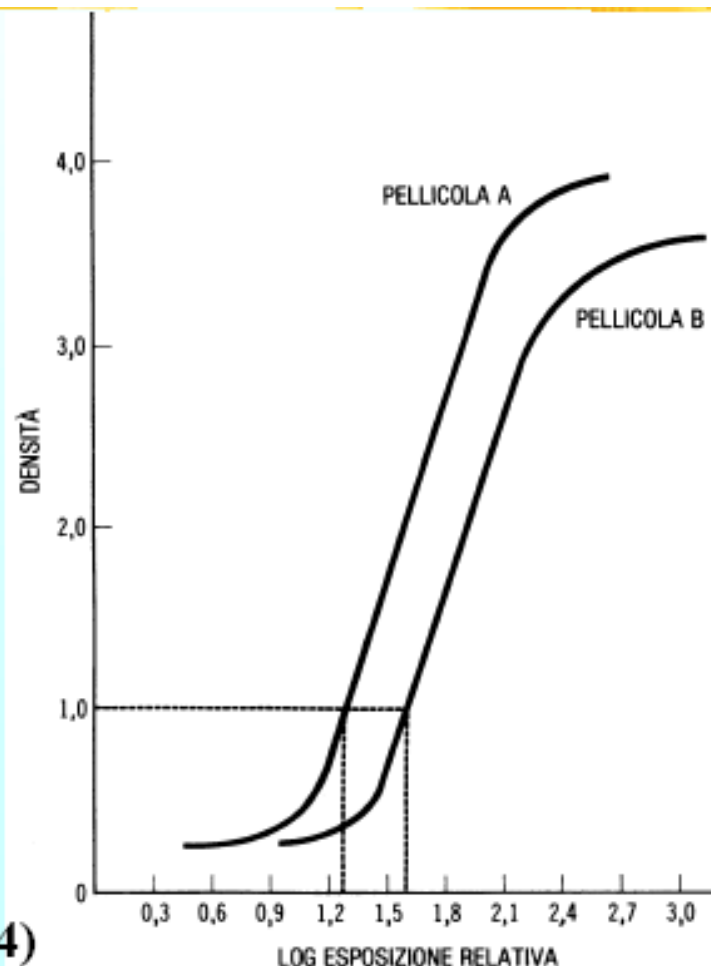


figura tratta da Bushong (4)

elevata rapidità ↔ cattiva definizione
elevata definizione ↔ bassa rapidità

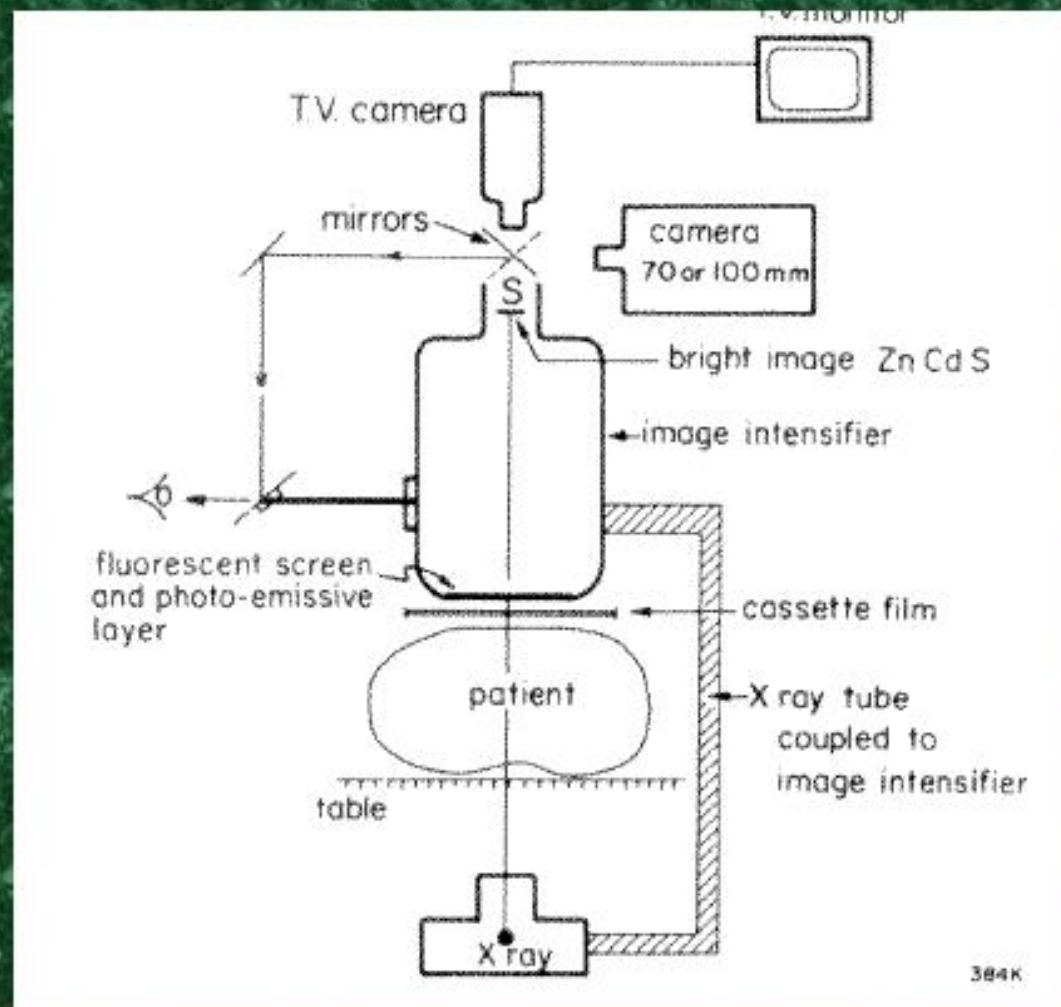
Rapidità: l'inverso della dose per ottenere una densità ottica pari a uno

figura tratta da Bushong (4)

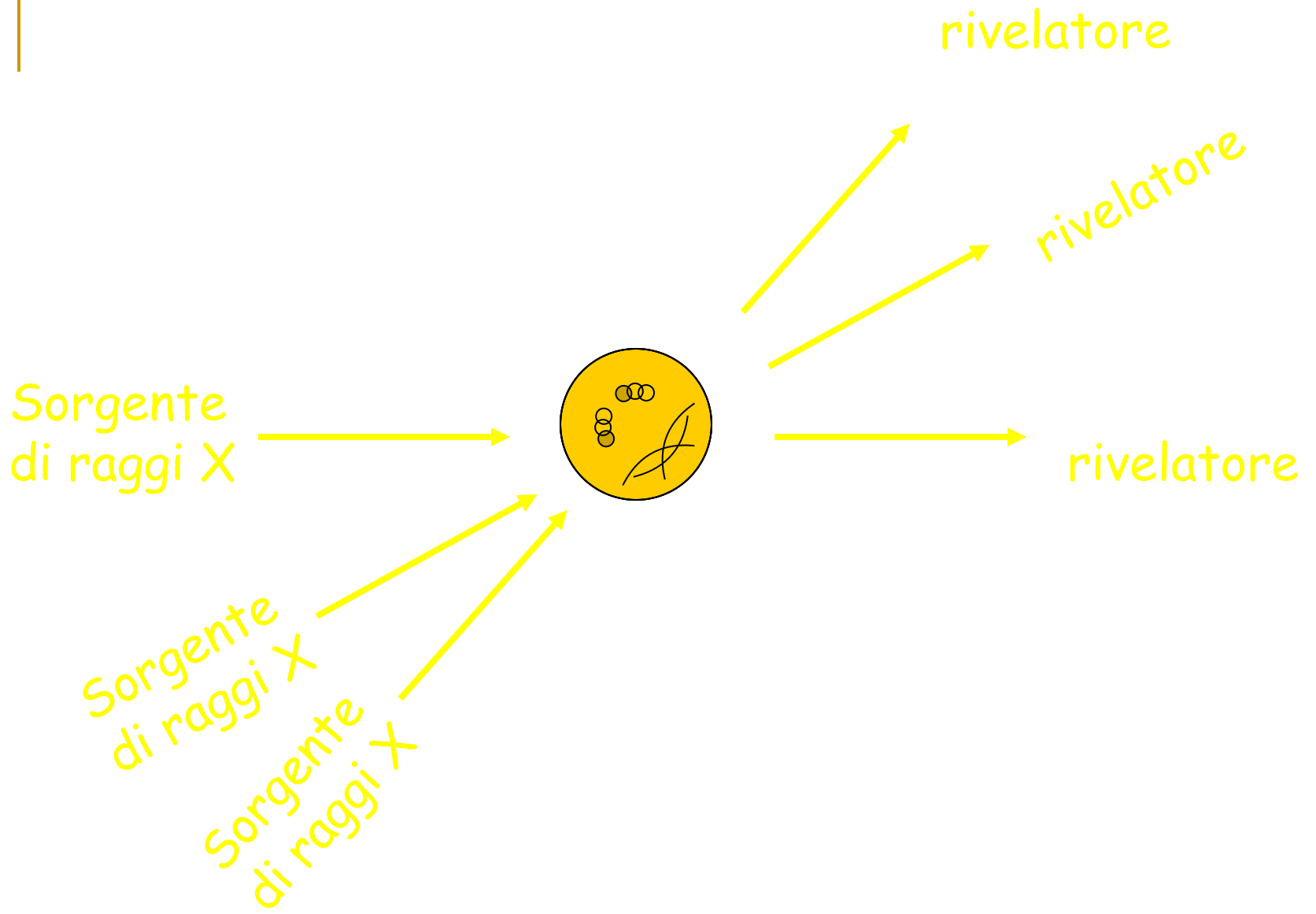


Intensificatori di brillantezza

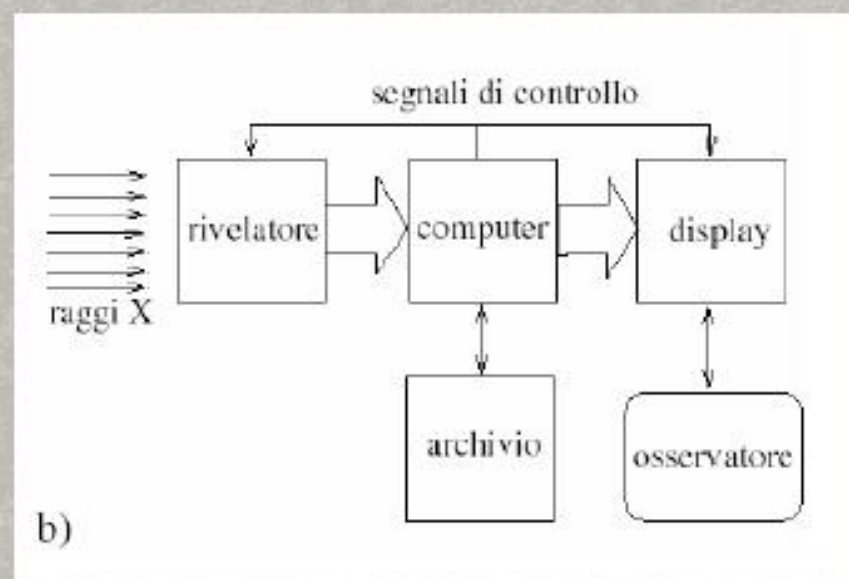
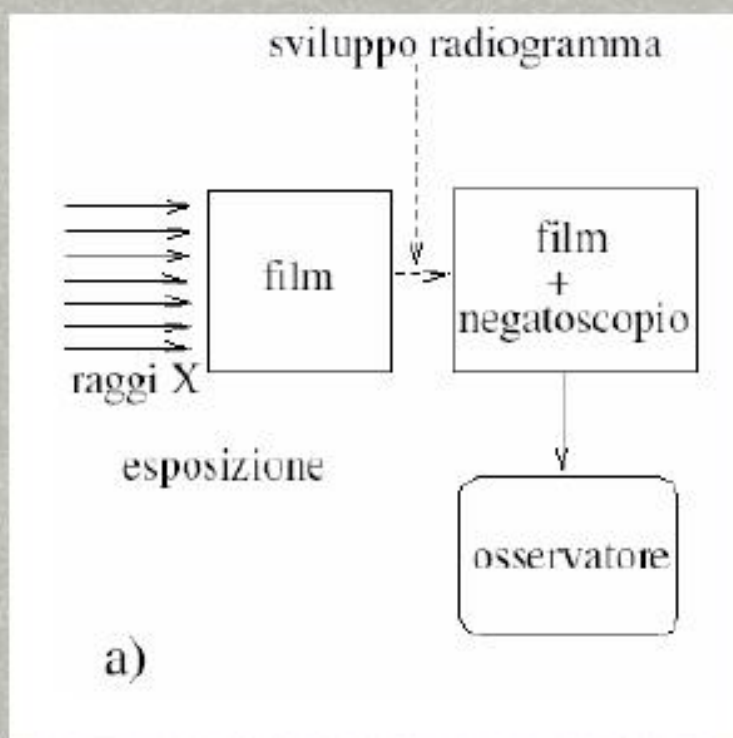
Lo schermo fluorescente (cathododo) emette elettroni che vengono accelerati (25 kV) moltiplicandosi e migliorando la brillantezza dell'immagine – La corrente anodica necessaria alla formazione dell'immagine televisiva è molto minore rispetto a quella necessaria per una lastra fotografica, ma il tempo di visione dell'immagine (decine di secondi) può dar luogo a maggiori carichi (As) e quindi a maggiori dosi al paziente



TOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA



Radiografia analogica e digitale



Gestione elettronica delle immagini

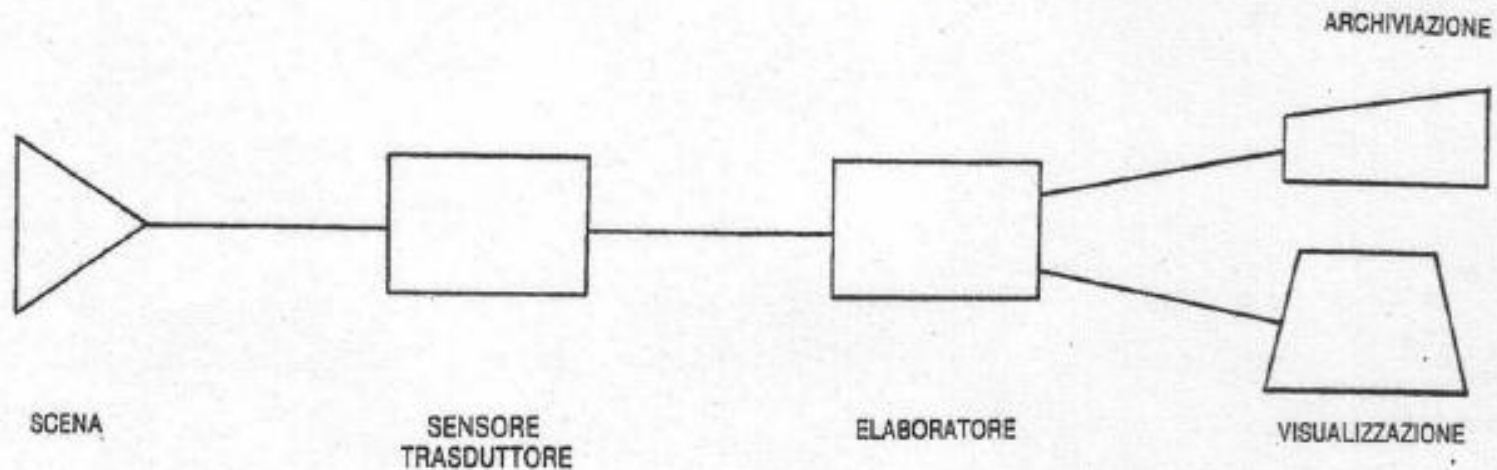
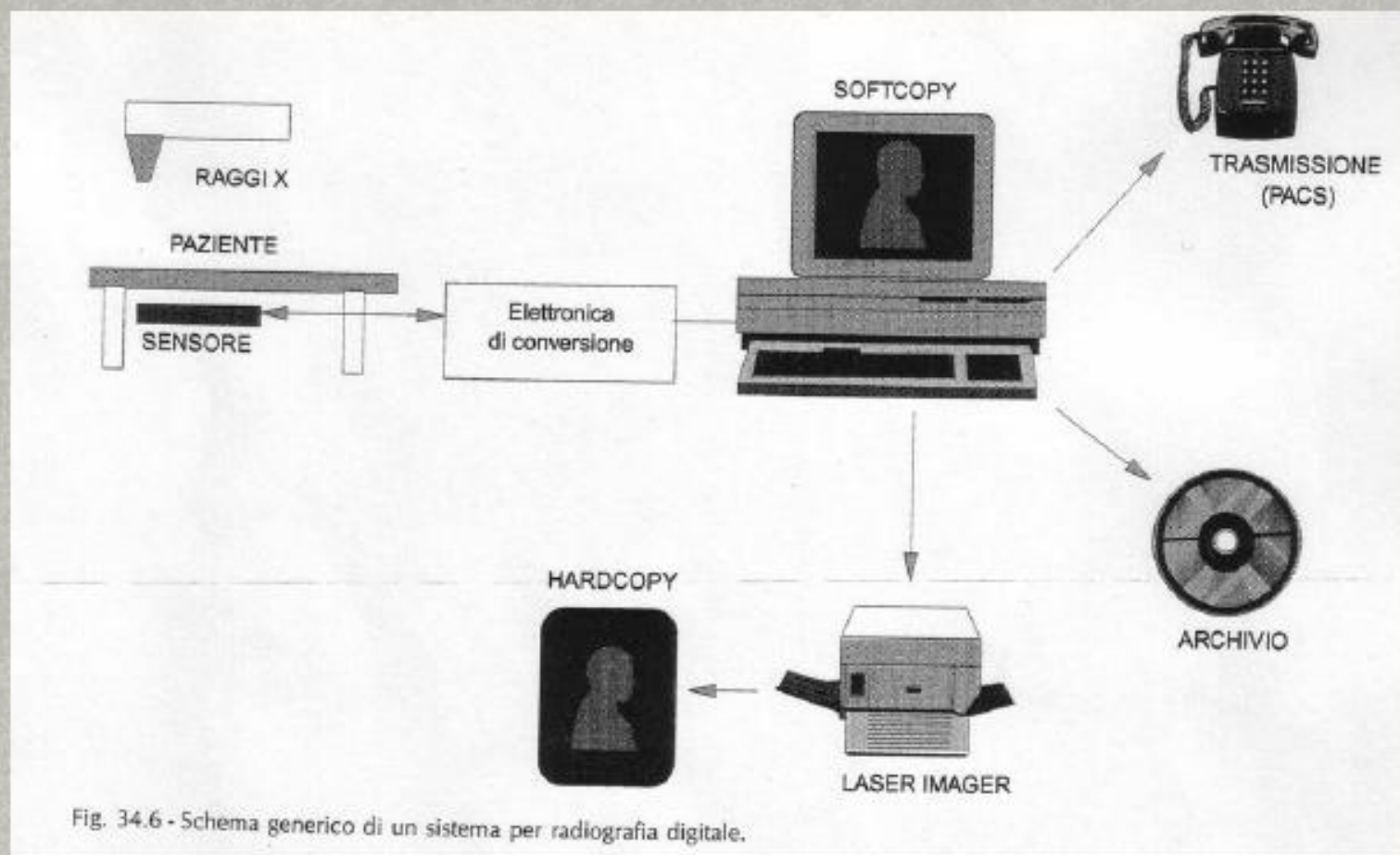


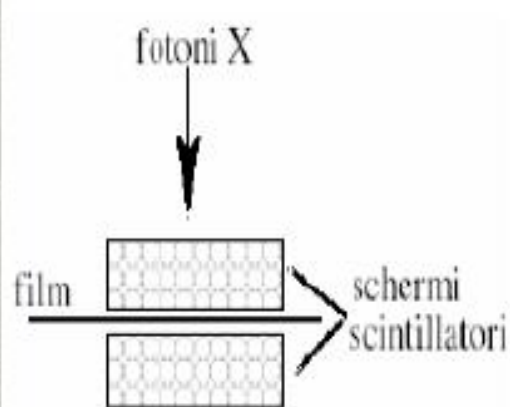
Fig. 34.1 - Processo di gestione delle immagini in forma elettronica.

Schema generico di un sistema di radiografia digitale

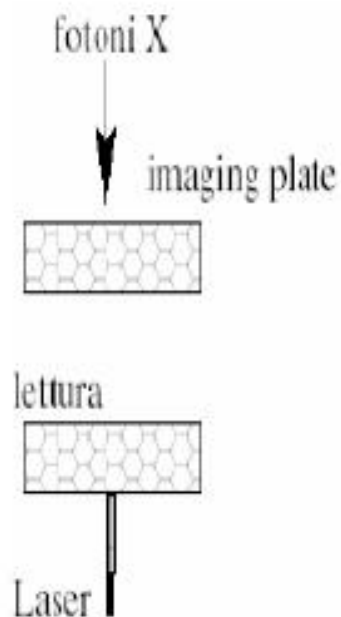


Schemi possibili di rivelazione

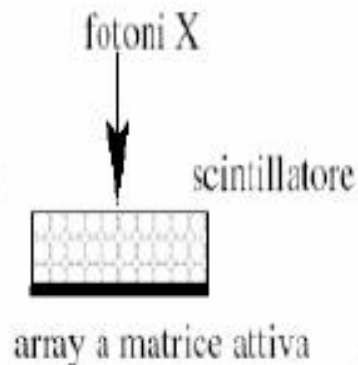
Radiografia digitale



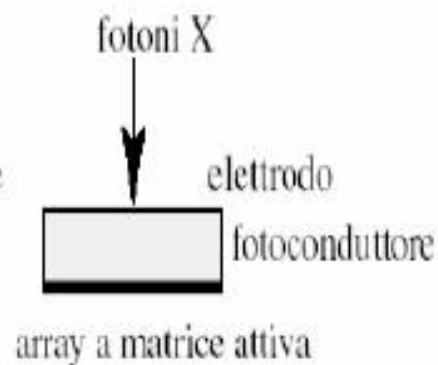
a)



b)

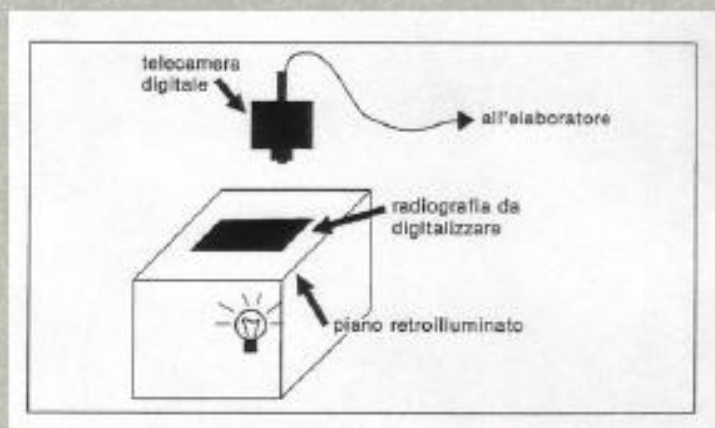


c)



d)

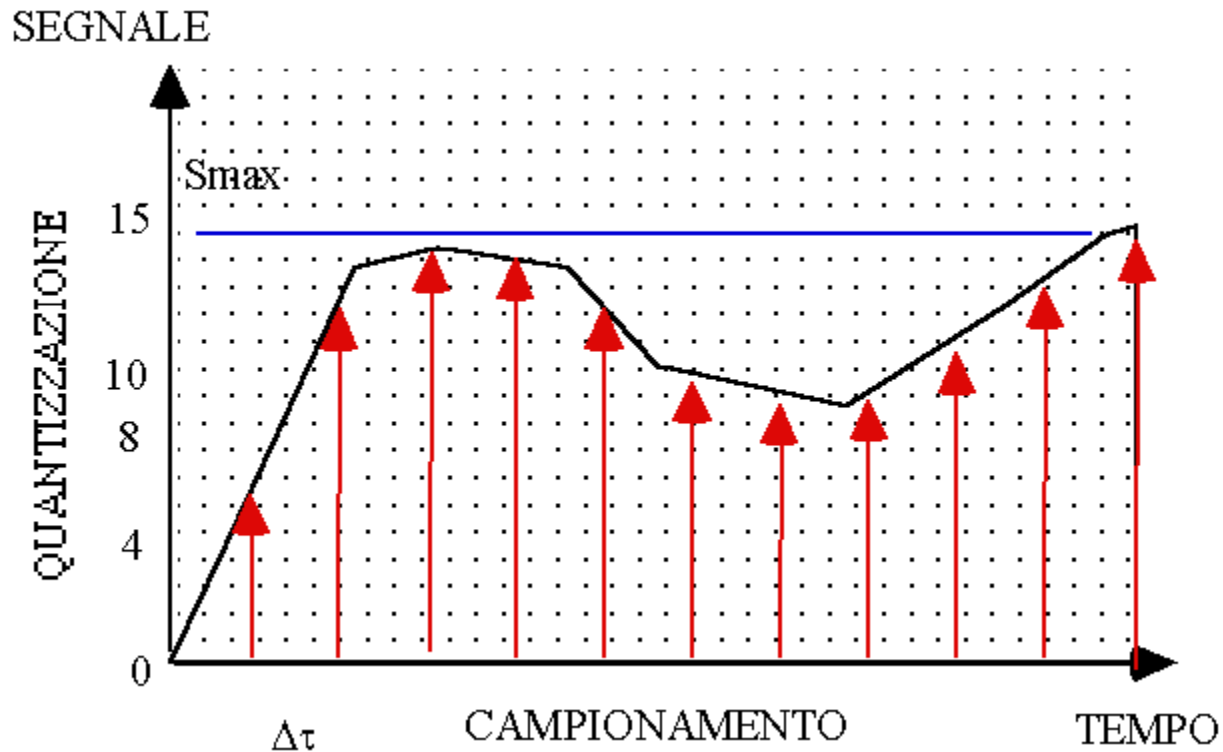
Digitalizzazione di una lastra



Il sistema più semplice prevede una **telecamera** fissa su uno stativo che inquadra una superficie retroilluminata sulla quale viene poggiata la lastra da convertire in digitale

Il fascio luminoso viene convertito in un segnale elettrico che viene trasmesso ad un convertitore analogico-digitale. La conversione viene fatta su scala 512x512. Le telecamere attuali sono equipaggiate con un **sensore CCD** (Charge Coupled Device) fornisce direttamente un'immagine digitale

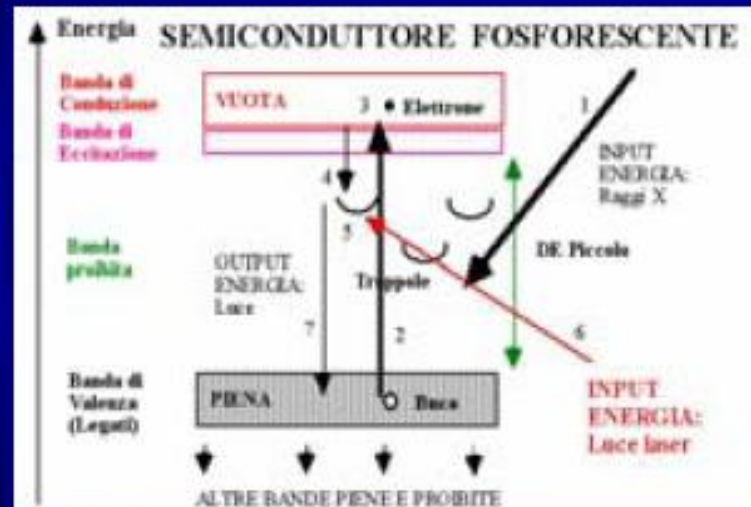
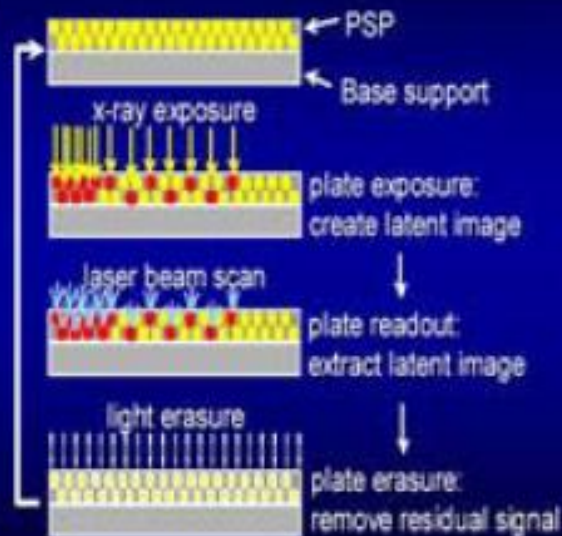
Digitalizzazione di un segnale



Tecnologia dei sistemi digitali

- Plate ai fosfori + Lettore Laser (CR)
- Rivelatore + Catena Televisiva (CCD cameras systems)
- Active Matrix Flat Panel Detectors (DR)

CR: formazione dell'immagine latente



DR: tipologie dei recettori di immagine

■ Sistemi a CONVERSIONE INDIRETTA

Materiale scintillatore

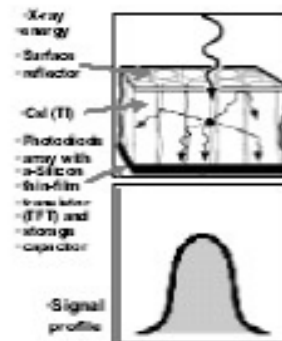
matrice attiva
(fotodiodi+TFT)

■ Sistemi a CONVERSIONE DIRETTA

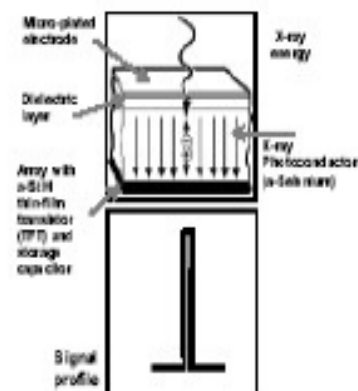
Materiale fotoconduttore

matrice attiva
(condensatori + TFT)

- Scintillator
- Light Photodiode
- TFT



- Micro-plated electrode
- a-Se semiconductor
- TFT



Qualità globale dell'immagine digitale: DQE

- MTF = funzione di trasferimento del potere di risoluzione spaziale
- NPS = funzione di trasferimento del rumore
- DQE = funzione di trasferimento del SNR

$$DQE(f) = \frac{SNR_{out}^2(f)}{SNR_{in}^2(f)} \propto \frac{MTF^2(f)}{NPS(f)}$$

Dipende da:

- caratteristiche di assorbimento dei raggi X da parte del rivelatore
- rumore elettronico
- altri tipi di rumore

Caratteristiche di un sistema digitale

Sono date dalle caratteristiche dell'immagine :

- Risoluzione (MTF)
 - Range dinamico (o latitudine)
 - Rumore (granularità)
- La risoluzione (e quindi l'associato numero di pixels) e il range dinamico (e quindi l'associato numero di bits per pixel) possono implicare una notevole quantità di memoria (10 milioni di pixel per 10 o 12 bits per pixel, con rapporto segnale/rumore di almeno 100.
- La qualità dell'immagine può essere migliorata dopo l'acquisizione se si usa un diverso mezzo di visualizzazione (softcopy su monitor/hardcopy su lastra)

Fluoroscopia digitale

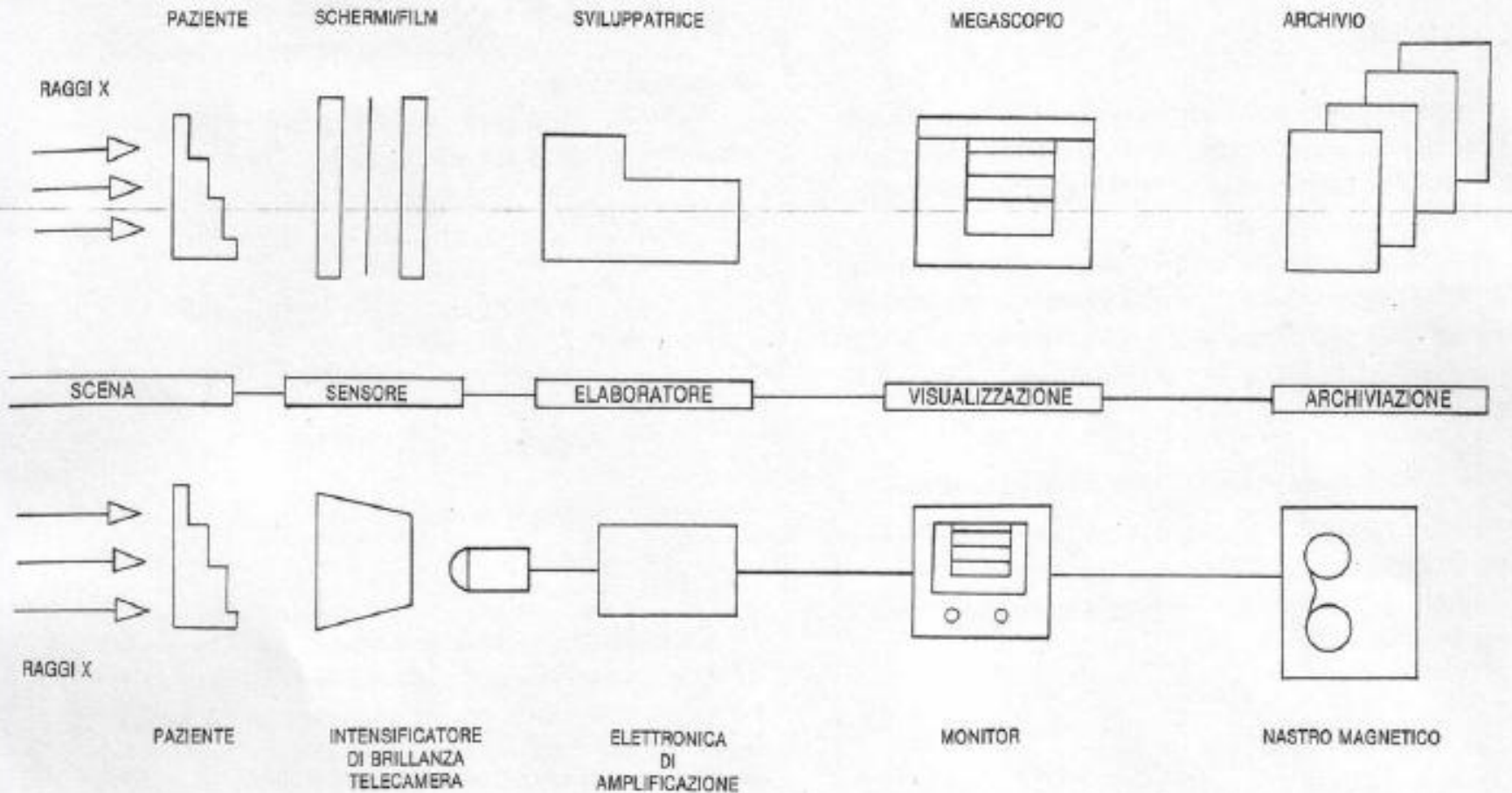


Fig. 34.2 - Analogia tra radiografia convenzionale e sistema di fluoroscopia digitale.

I principali ed evidenti vantaggi offerti dall'“Imaging” digitale sono:

- *ampio range dinamico;*
 - *postprocessing;*
 - *molteplici possibilità di*
 - a) visualizzare,*
 - b) trasferire,*
 - c) archiviare le immagini.*
-

Vantaggi della tecnologia digitale applicata alla radiologia medica

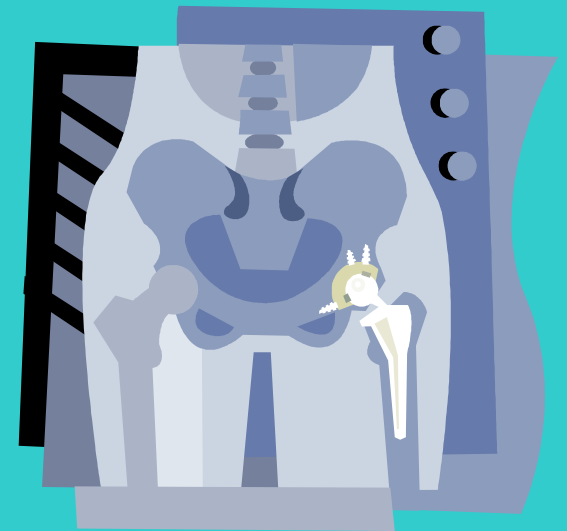
- Ottimizzazione del lavoro
- Possibilità di collegamento con i sistemi RIS/PACS aziendali grazie alla compliance con le diverse classi di servizi dello standard di comunicazione DICOM
- Riduzione dei costi per il materiale radiografico (filmless)
- Possibilità di post processing compensa grandemente la differenza qualitativa con le immagini analogiche convenzionali



Importanza della Qualità delle immagini

La corrispondenza tra il rappresentante (immagine) ed il rappresentato (anatomia nell'imaging morfologico o funzione dell'imaging parametrico) risulta il presupposto

fondamentale dell'utilizzazione a scopo clinico di qualunque sistema di diagnostica per immagini.

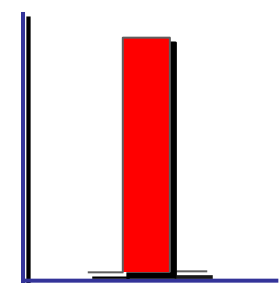
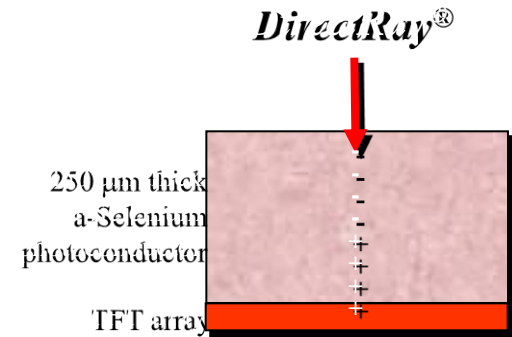
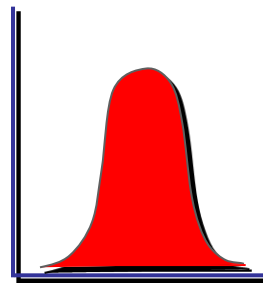
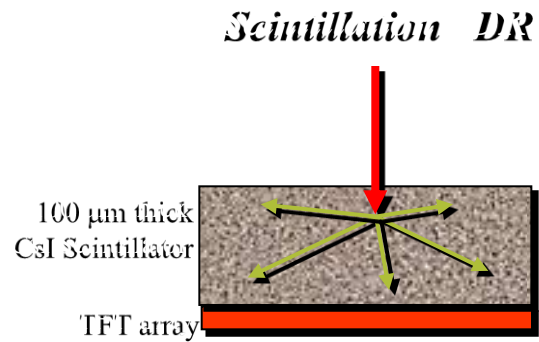
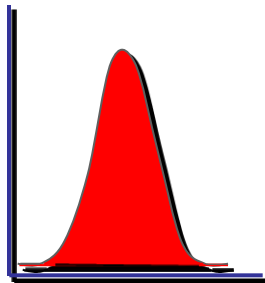
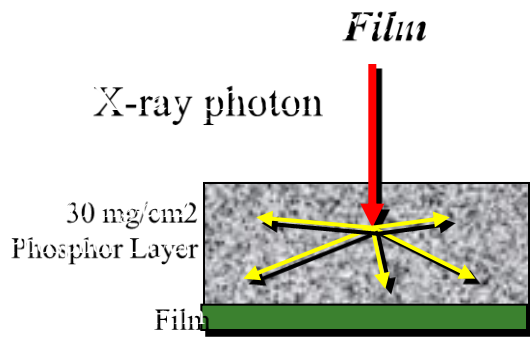


Il "caso" della fluoroscopia e dei rivelatori digitali

- ▶ La variabilità della dose connessa con la singola indagine radiologica realizzata utilizzando per rivelatore l'accoppiata schermo-pellicola resta vincolata dall'intervallo di sensibilità dell'accoppiata e dalle condizioni di sviluppo del materiale sensibile. Viceversa sia in radiologia digitale che in radioscopica le apparecchiature sono dotate di un guadagno intrinseco che permette la realizzazione di immagini di buona qualità per un ampio intervallo di esposizione. In linea di principio potrebbero essere condotte indagini con basse dosi quando il rischio da radiazioni è significativo per il paziente mentre dosi più elevate potrebbero essere impiegate quando è richiesta la produzione di immagini ad alta risoluzione con un basso rumore

I segnali diretti ed indiretti

-
-



Signal Profile

Requisiti dei sensori di immagine

- Elevata risoluzione
- Resa dei grigi
- Sensibilità ai raggi X
- Possibilità di realizzare formati diversi
- Compatibilità con i tavoli radiografici esistenti
- Facilità ed economicità di lettura
- Persistenza dell'immagine prima della lettura

Approcci : sensore che sostituisce la lastra radiografica (esposizione e lettura successiva) oppure sensore a lettura diretta ed immediata.

I sistemi per la fluoroscopia digitale sono normalmente basati sull'uso di intensificatori d'immagine, il cui output viene inviato su un dispositivo che converte il segnale in un'immagine digitale.

Fluoroscopia digitale

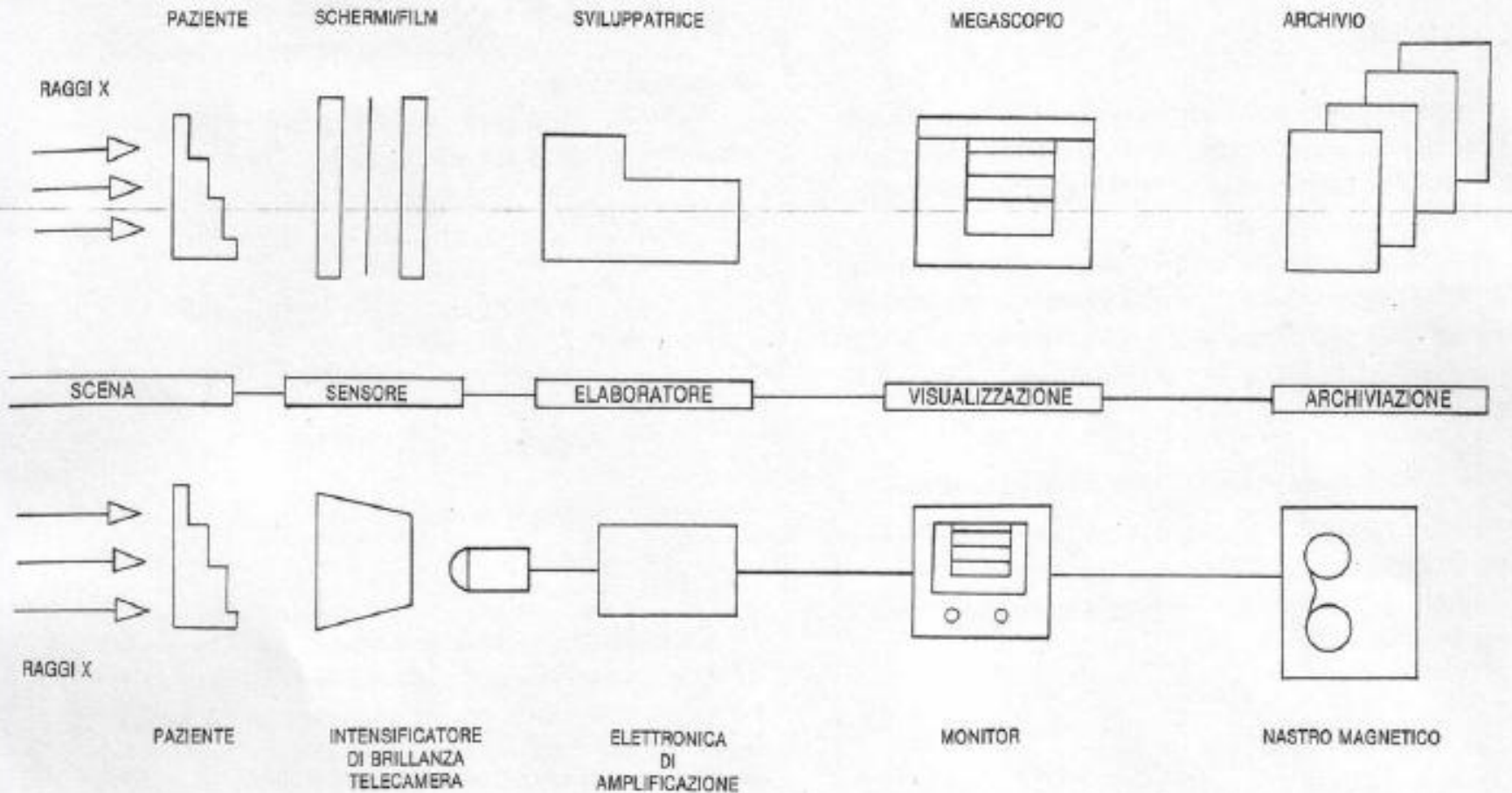


Fig. 34.2 - Analogia tra radiografia convenzionale e sistema di fluoroscopia digitale.

Vantaggi della tecnologia digitale applicata alla radiologia medica

- Ottimizzazione del lavoro
- Possibilità di collegamento con i sistemi RIS/PACS aziendali grazie alla compliance con le diverse classi di servizi dello standard di comunicazione DICOM
- Riduzione dei costi per il materiale radiografico (filmless)
- Possibilità di post processing compensa grandemente la differenza qualitativa con le immagini analogiche convenzionali

