

---

# Aggiornamento in radioprotezione

## Parte 1: Evoluzione dei sistemi digitali



Formazione del 03.10.2024

Sala Aragonite di Manno

Benvenuti!

---

---

# La Radiologia Digitale

Con la diffusione ed il costante progresso dei computer, in termini di potenza di calcolo e di riduzione delle dimensioni (intorno agli inizi degli anni '70), si sono affermate delle sviluppate tecnologie nelle quali era fondamentale l'apporto di questi sistemi.



Nella Radiologia, la Tomografia Computerizzata è stata la prima tecnica basata sui calcoli di un computer e rappresentata da immagini cosiddette "digitali" perché costituite esclusivamente da numeri.



Intorno alla metà degli anni '80, la Fuji introduceva sul mercato una nuova tecnologia, la Radiografia Computerizzata (Computerized Radiography – CR), basata sui fosfori fotostimolabili (Photo Stimulable Phosphors – PSP), in grado di dare immagini radiografiche digitali. Nasceva così una nuova branca della Radiologia, la Radiologia Digitale.

# La Radiologia Analogica vs Digitale

---

## Analogico vs. Digitale

### **Radiologia convenzionale:**

la pellicola radiografica

è il rivelatore

è il supporto di registrazione

è il dispositivo di visualizzazione

### **Radiologia digitale:**

il processo di formazione  
dell'immagine prevede:

il rivelatore

il digitalizzatore

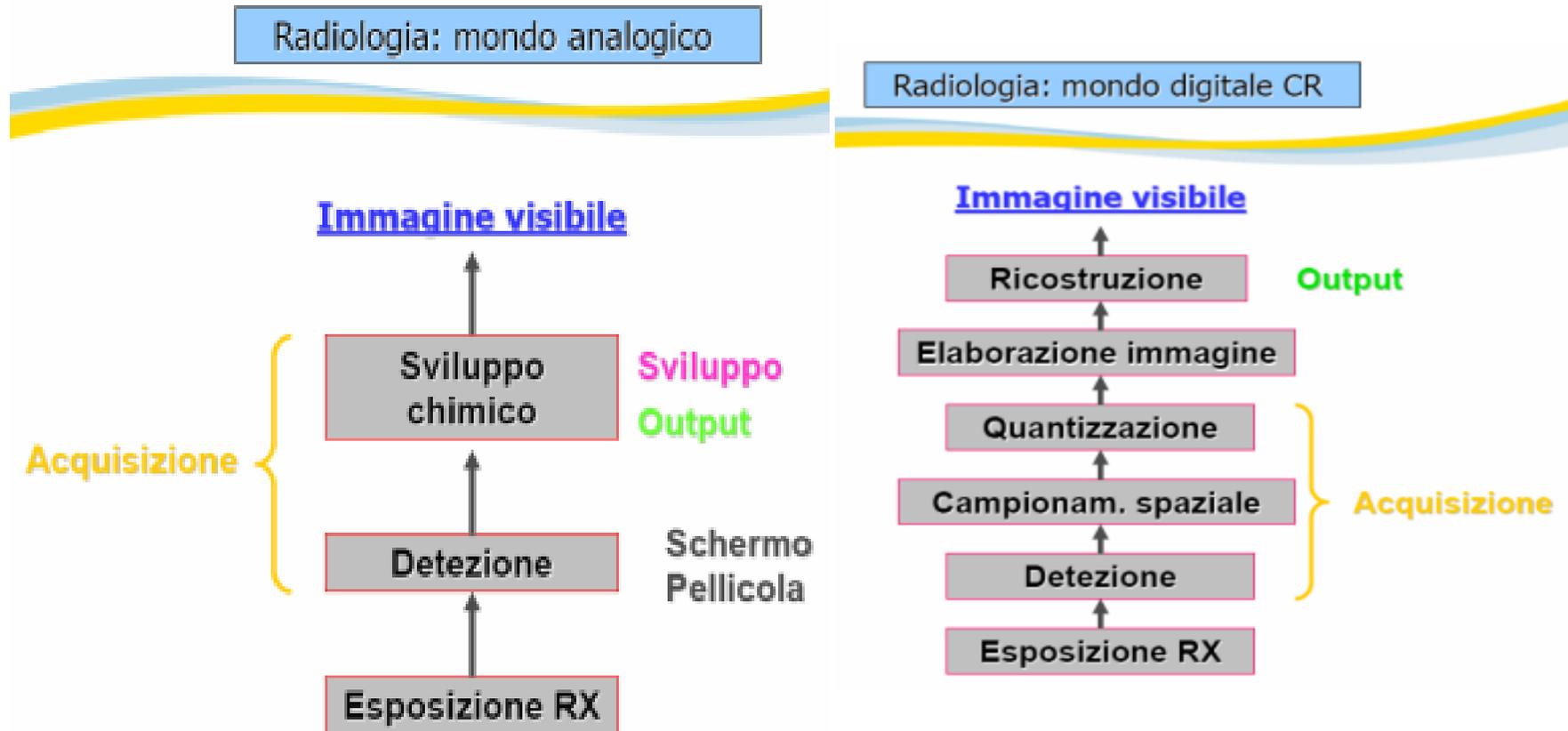
l'elaboratore dell'immagine

l'archiviazione

la visualizzazione

eventuale registrazione su film

# La Radiologia Analogica vs Digitale



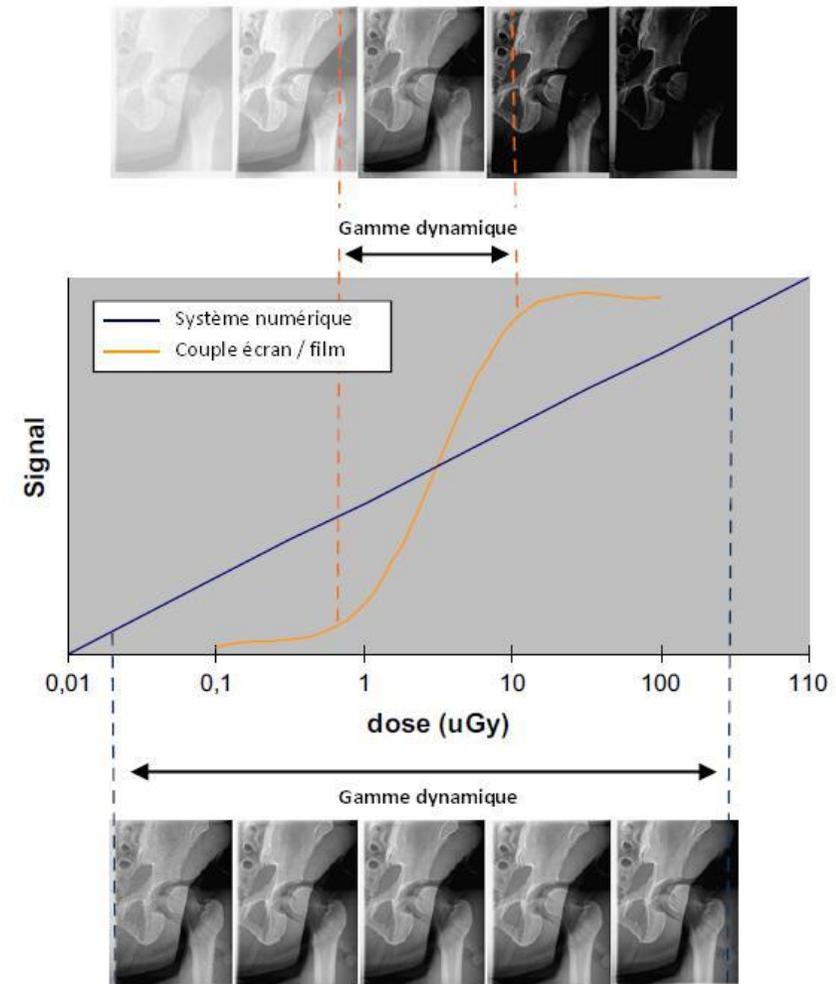
# Film e immagine digitale

## □ Film

- Classe di sensibilità
- Densità ottica variabile in base alla dose
- Contrasto del film variabile in base ai kV
- Range dinamico ristretto (latitudine)

## □ Immagine digitale

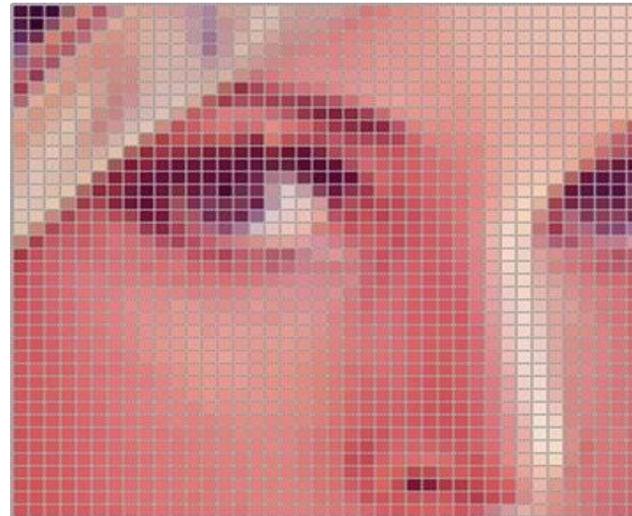
- Annerimento indipendente dalla dose
- Contrasto dipendente dal kV
- Rumore dipendente dalla dose
- Ampio range dinamico



---

# La Radiologia Digitale: Risoluzione spaziale

- Le radiografie digitali, al pari di tutte le immagini digitali, sono basate su una **matrice**, nella quale l'immagine viene scomposta in un numero finito di unità elementari di superficie dette **pixel** (PIctureELement).
- In una matrice tanto più piccoli sono i pixel, tanto più dettagliata appare l'immagine.
- La risoluzione spaziale delle immagini digitali può, perciò, essere espressa in numero di pixel per unità di superficie.



---

# Formati/Matrici CR-DR

35x43cm : **2048x2508**  
35x43cm HR: **3072x3763**  
35x35cm : **2048x2048**  
35x35cm HR: **3072x3072**  
24x30cm: **2035x2560**  
18x24cm: **1520x2035**



Le dimensioni dei pixel variano dai 50  $\mu\text{m}$  (0,05mm) a 100  $\mu\text{m}$  (0,1mm) per la mammografia fino a 100-200  $\mu\text{m}$  (0,1mm-0,2mm) in radiografia convenzionale.

---

# Taglia e Peso di una immagine

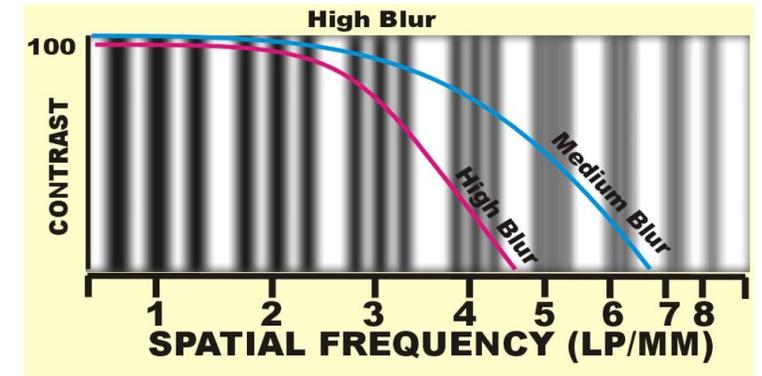
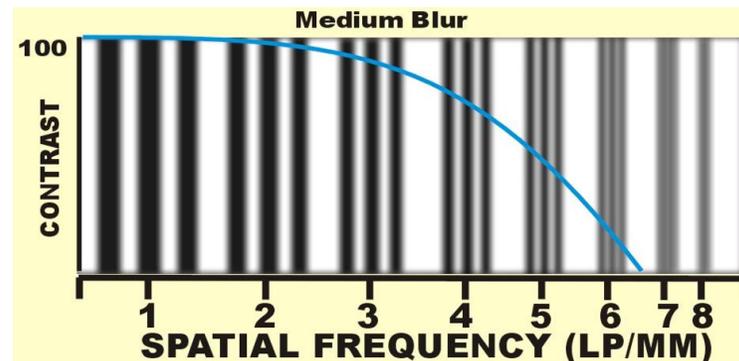
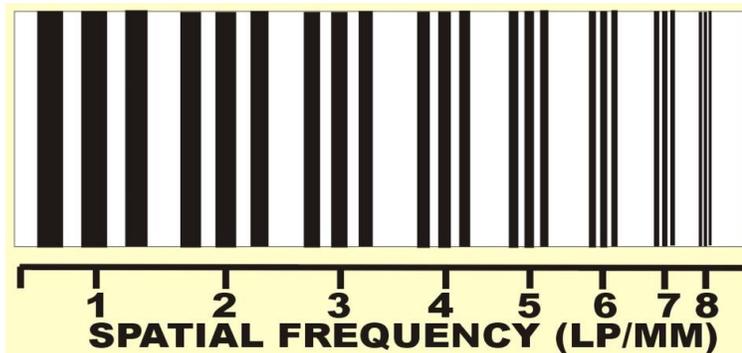
Taille de l'image	Définition de l'image	Gamme dynamique	Poids de l'image [Mo]	Applications (exemples)
256 x 256	65'536	10 bits	0.08	Echographie IRM
512 x 512	262'144	12 bits	0.38	Echographie IRM / CT
1024 x 1024	1'048'576	12 bits	1.50	CT Radiographie
2048 x 2048	4'194'304	12 bits	6.00	Radiographie Angiographie
4096 x 4096	16'777'216	12 bits	24.0	Radiographie Mammographie

Application	Taille des pixels [mm]	Poids d'une image [Mo]	Nombre moyen d'images par examen	Poids moyen pour un examen [Mo]
Mammographie	0.05 – 0.1	50	4	200
Fluoroscopie	0.1 – 0.2	2	10	20
CT	0.1 – 1	0.5	150	75
Coronarographie	0.1 – 0.2	0.5	1500 - 2000	750 - 1000
IRM	0.2 – 1	0.25 – 0.5	250	65 - 125

---

# La Radiologia Digitale: Risoluzione spaziale

La risoluzione spaziale di una immagine radiografica viene espressa in paia di linee per millimetro (line pairs/mm – lp/mm) (cioè, quante paia di linee, una bianca e una nera, è possibile distinguere nell'unità di riferimento).



---

# La Radiologia Digitale: Risoluzione spaziale

- Nella Radiografia Convenzionale su pellicola, la risoluzione spaziale di un sistema pellicola-schermo medio, è di circa 6 lp/mm mentre può arrivare a 20 lp/mm nei sistemi usati per le mammografie.

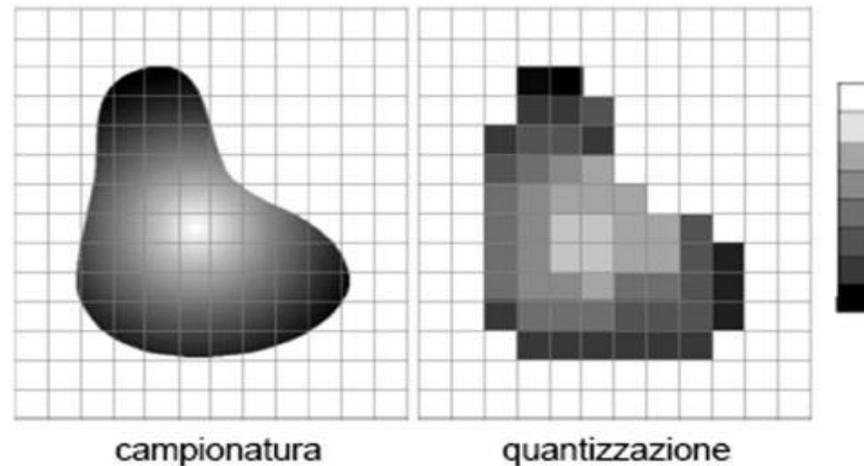
Nella Radiologia Digitale la risoluzione spaziale è più bassa se comparata alla Radiologia Convenzionale e nei sistemi attualmente più diffusi essa è compresa tra 2 e 5 lp/mm, 10 lp/mm per la mammografia.

- Formula per un sistema con pixel di 100  $\mu\text{m}$   
 $\text{lp/mm } (1/2) \times (1/0.1\text{mm}) = 5$

---

# Campionamento e quantizzazione

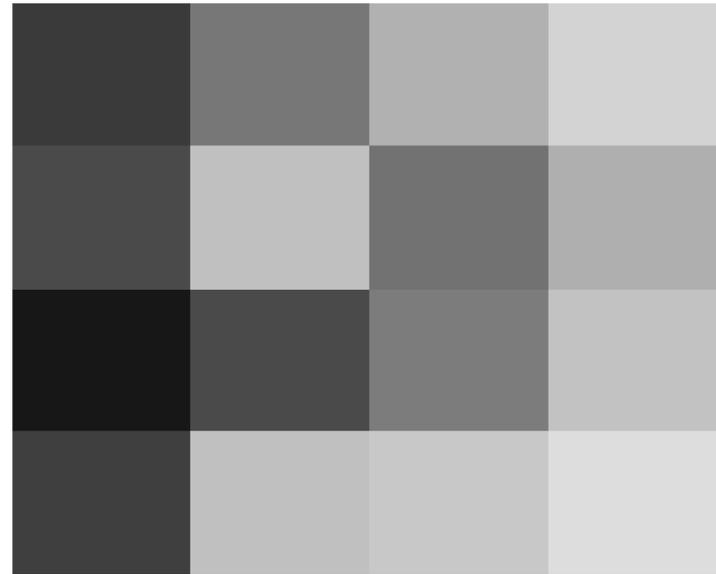
- Campionamento: discretizzazione spaziale in base alle dimensioni dei pixel che compongono la matrice, attribuzione a ciascun pixel di coordinate.
- Quantizzazione: discretizzazione dei valori di grigio in base alle capacità di codifica del sistema, attribuzione a ciascun pixel di un valore numerico (livello di segnale).



## Pixel e livello di grigio

23	34	65	121
58	70	44	98
7	18	36	80
30	77	144	230

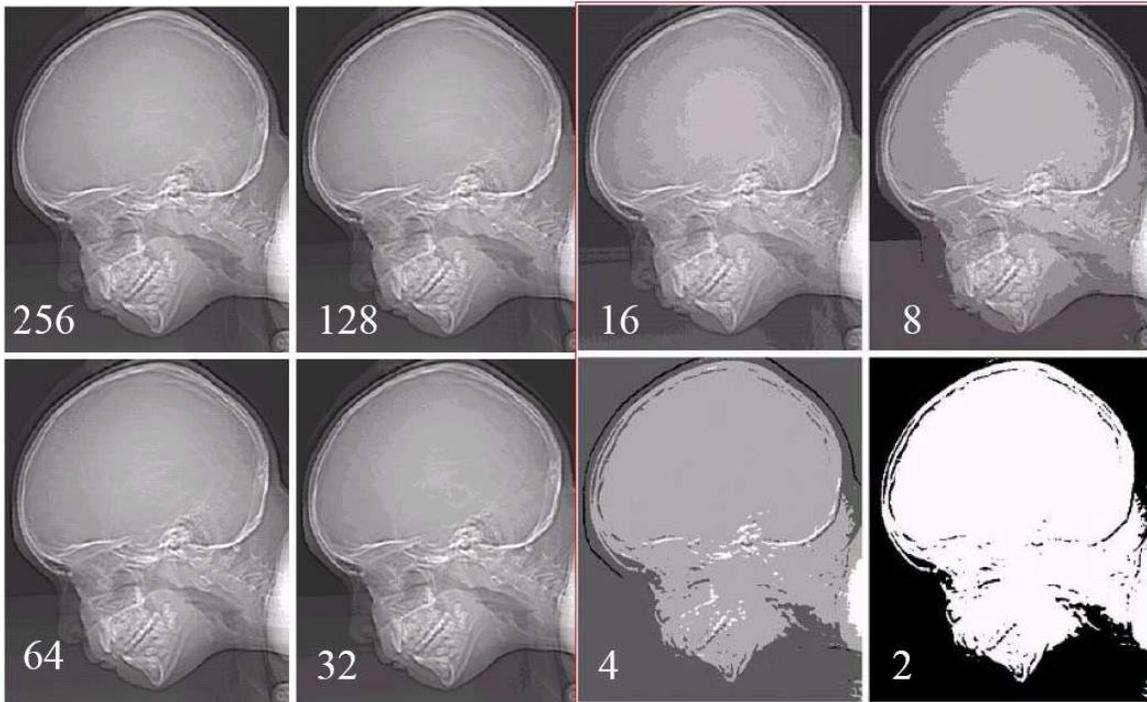
*Al pixel della matrice è assegnato un numero legato alla quantità di radiazione che è stata assorbita nell'area del pixel del rivelatore.*



- *Nella visualizzazione sul monitor al valore del pixel corrisponde un valore di grigio.*
- *I valori dei pixel calcolati durante l'acquisizione dell'esame non cambiano.*
- *Le tonalità dei grigi assegnate ai pixel possono invece cambiare per meglio visualizzare le strutture anatomiche.*

# La Radiologia Digitale: Livelli di grigio

- Immagine 452x374 da 256 a 2 livelli di grigio



- Oltre alla matrice e, quindi, alle dimensioni dei pixel, l'immagine digitale si caratterizza per la profondità della scala cromatica.
- Il numero dei grigi che costituiscono un'immagine radiografica digitale viene determinato dalla quantità di bit disponibili per la codifica dal sistema.

12 bits = 4096 livelli di grigio

14 bits = 16384 livelli di grigio

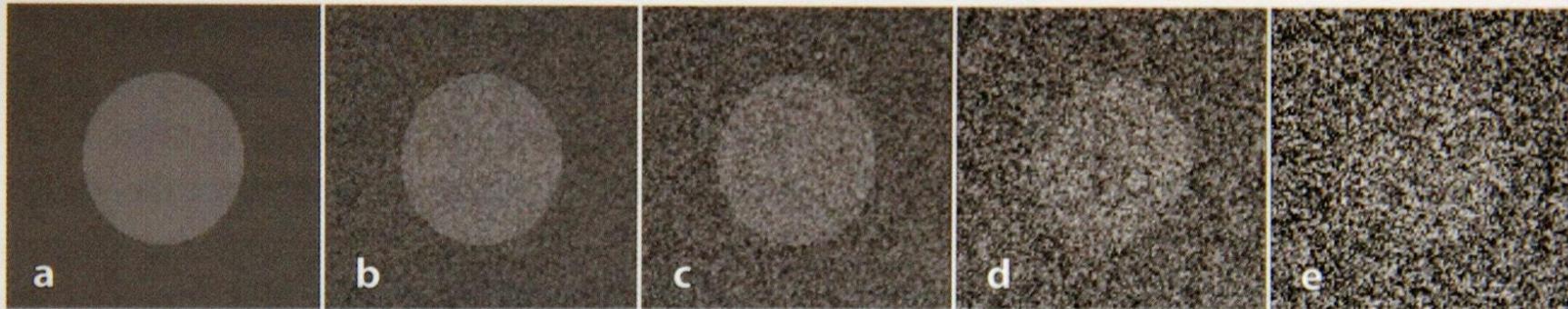
16 bits = 65536 livelli di grigio

---

## La Radiologia Digitale: Rumore e Risoluzione di contrasto

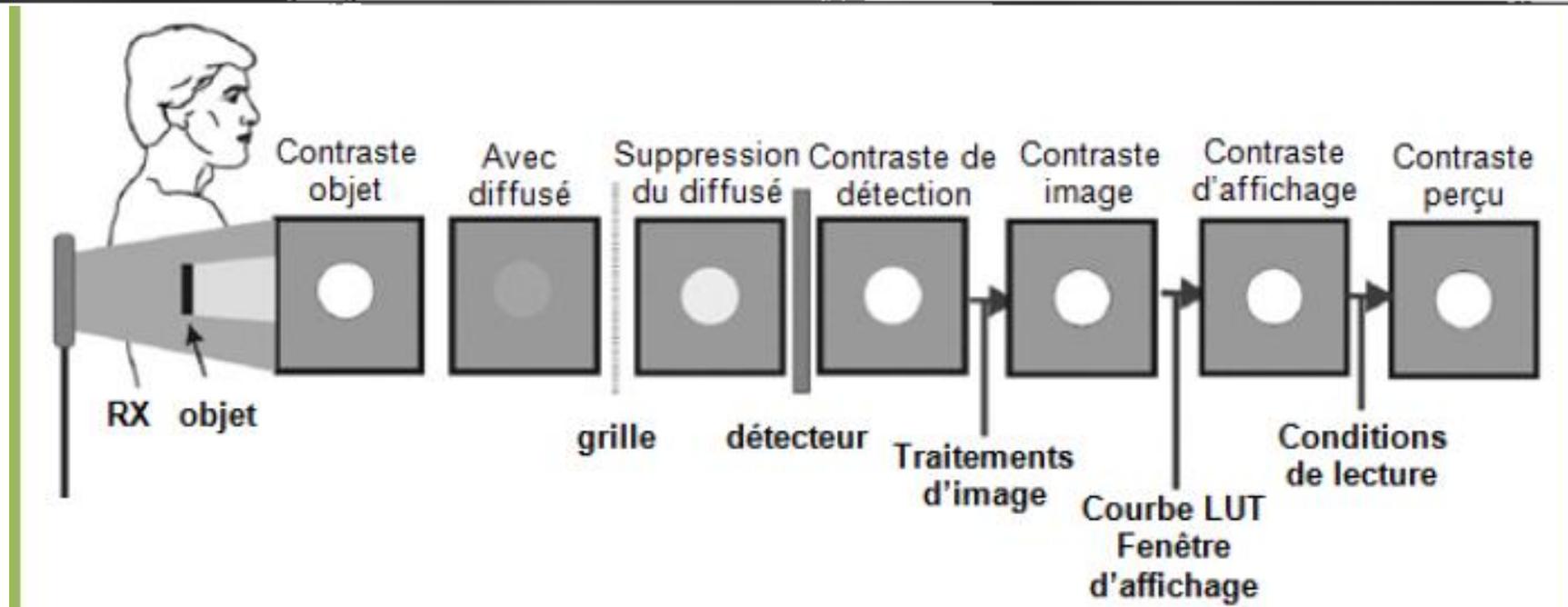
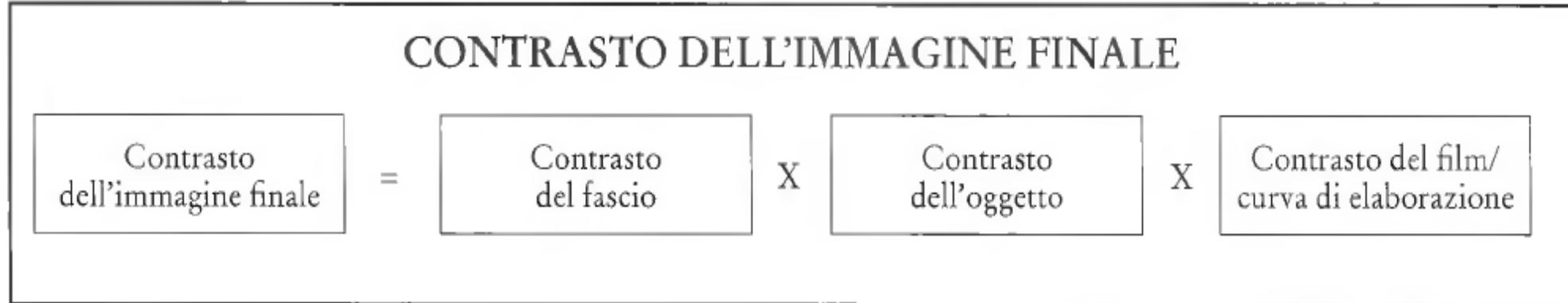
Il contrasto può essere definito come la differenza di densità tra due regioni di interesse dell'immagine.

3 Introduzione all'immagine digitale

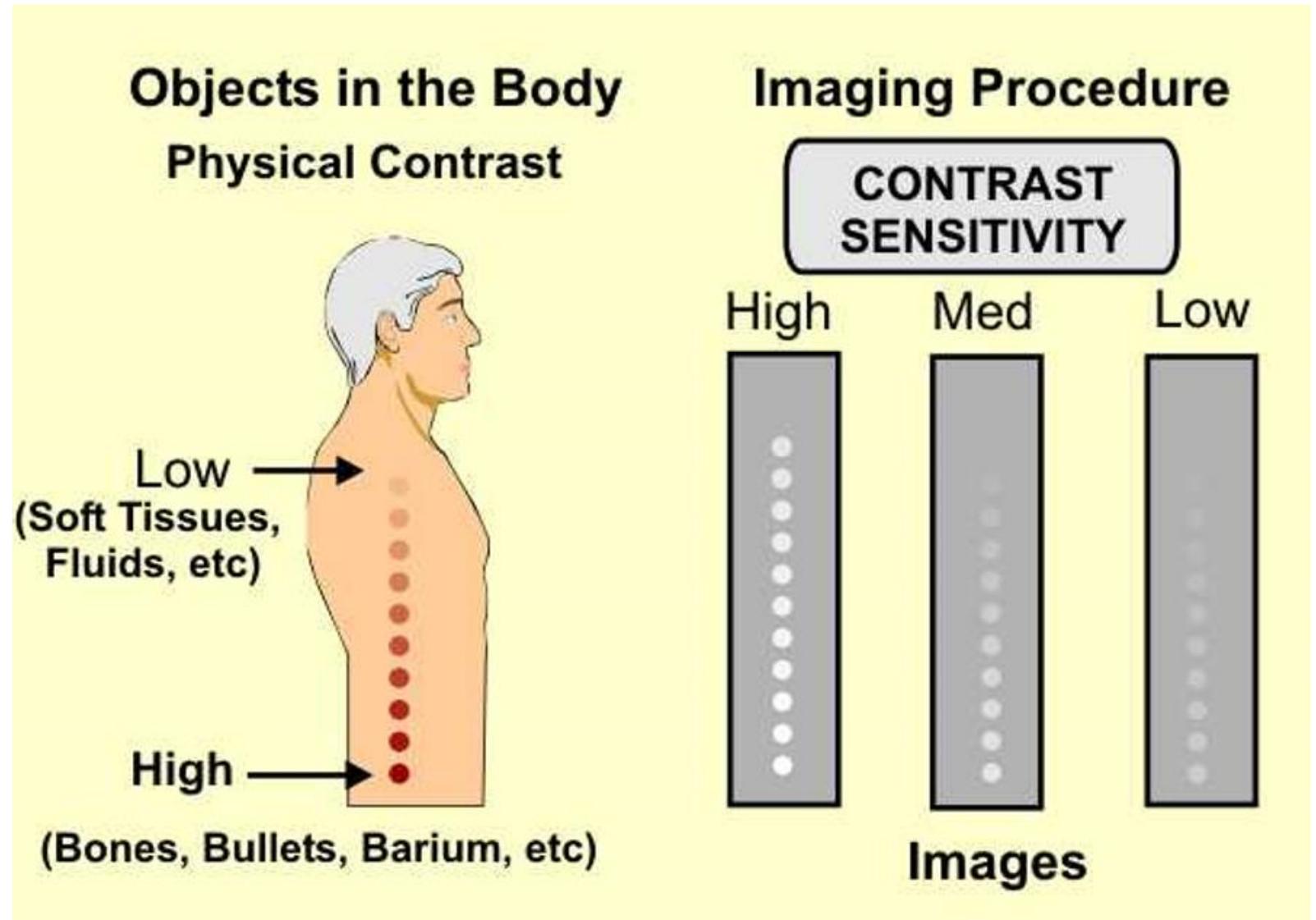


**Fig. 3.18** Esempi di immagini con diverso rapporto contrasto rumore (CNR). **a** Contrasto del 12%, assenza di rumore; **b** CNR 200%; **c** CNR 100%; **d** CNR 50%; **e** CNR 25%

# Contrasto



# Contrasto



---

# Monitor medicali di refertazione

2048 x 1536  
resolution 3 MP



2560 x 2048  
resolution 5 MP



# Monitor medicali

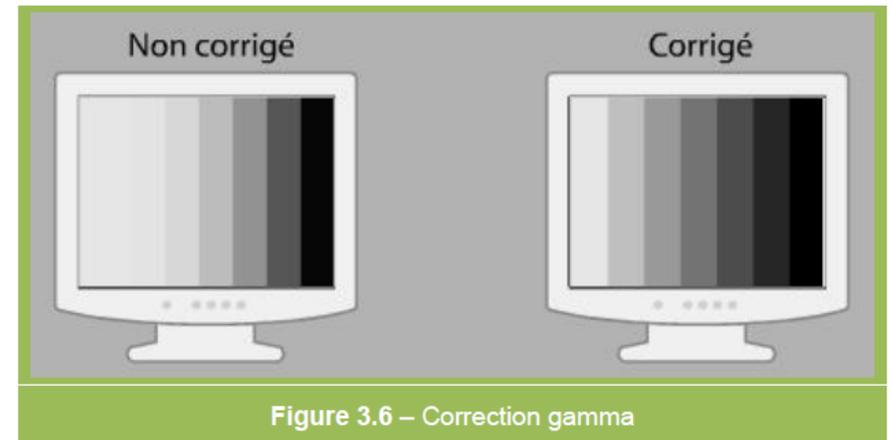
La **luminanza** è una grandezza fotometrica vettoriale definita come il rapporto tra l'intensità luminosa emessa da una sorgente nella direzione dell'osservatore e l'area apparente della superficie emittente, così come vista dall'osservatore. La luminanza è espressa in  $\text{cd}/\text{m}^2$ , unità di misura indicata anche con il nome di Nit.

Indica il numero di candele per metro quadrato:  $1 \text{ nit} = \frac{1 \text{ cd}}{1 \text{ m}^2}$

LUT è definita dalle norme DICOM 3.14

La LUT trasforma i livelli di contrasto in una scala di contrasti maggiormente percepibili dal sistema visivo

Sans correction gamma	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Avec correction gamma	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0



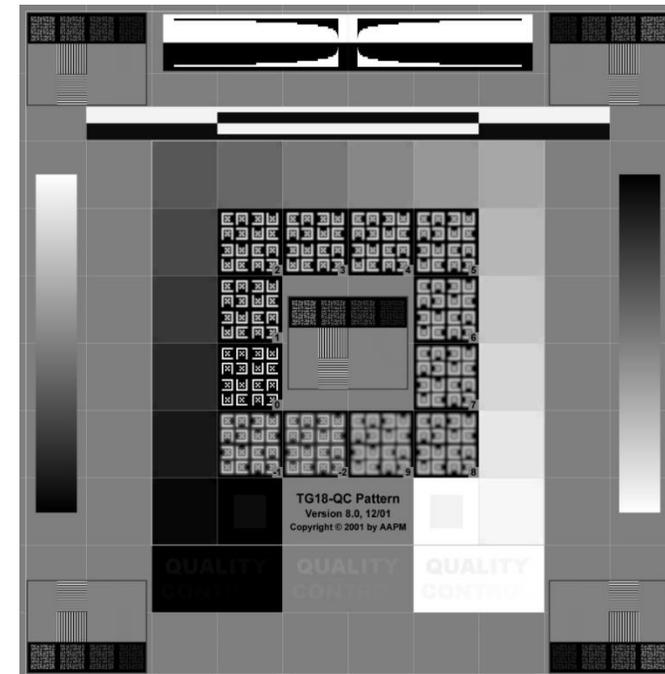
---

# Monitor medicali

Si considerano necessari i seguenti controlli di qualità:

- Esame di collaudo (Calibration)*
- Esame di stabilità settimanale***
- Esame di stato annuale (Calibration)*

- TG18-QC

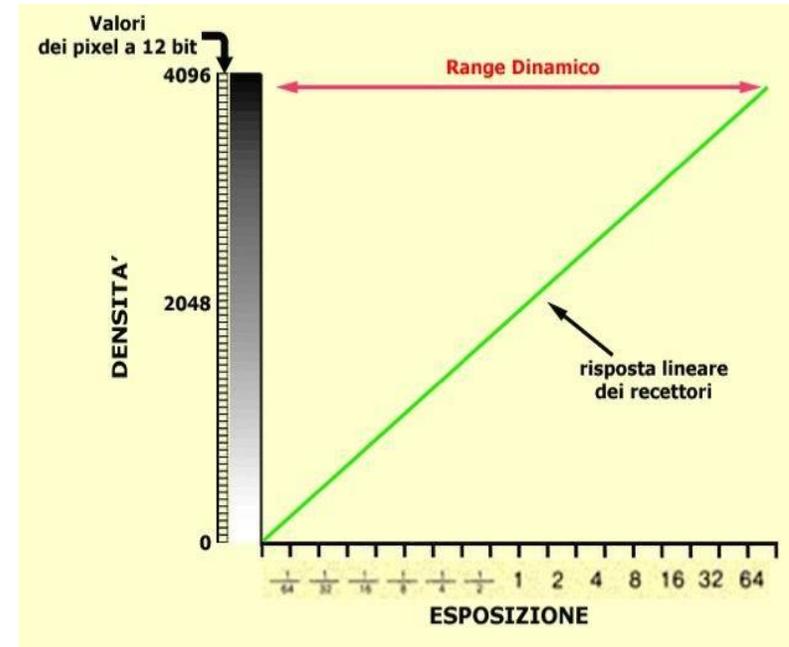
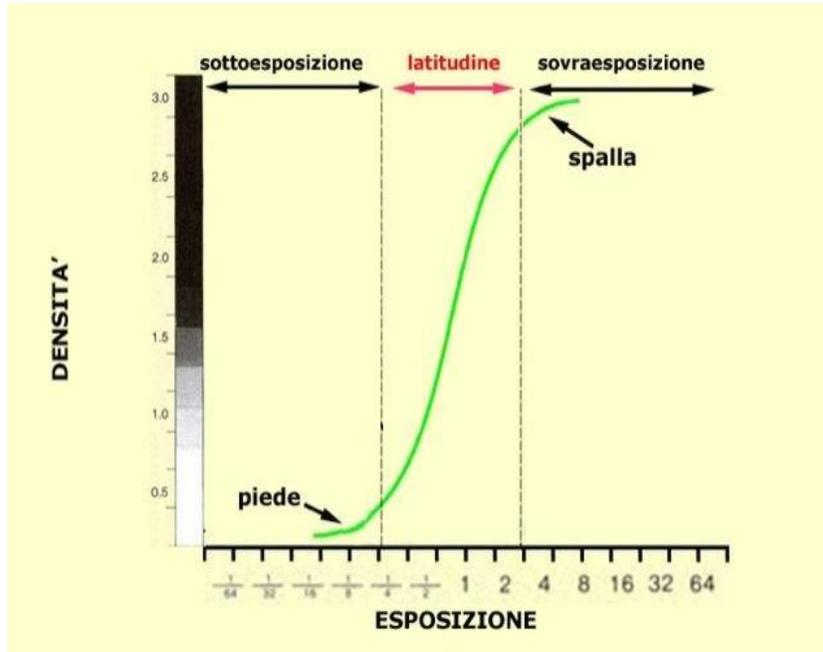


---

# La Radiologia Digitale: Post-processing

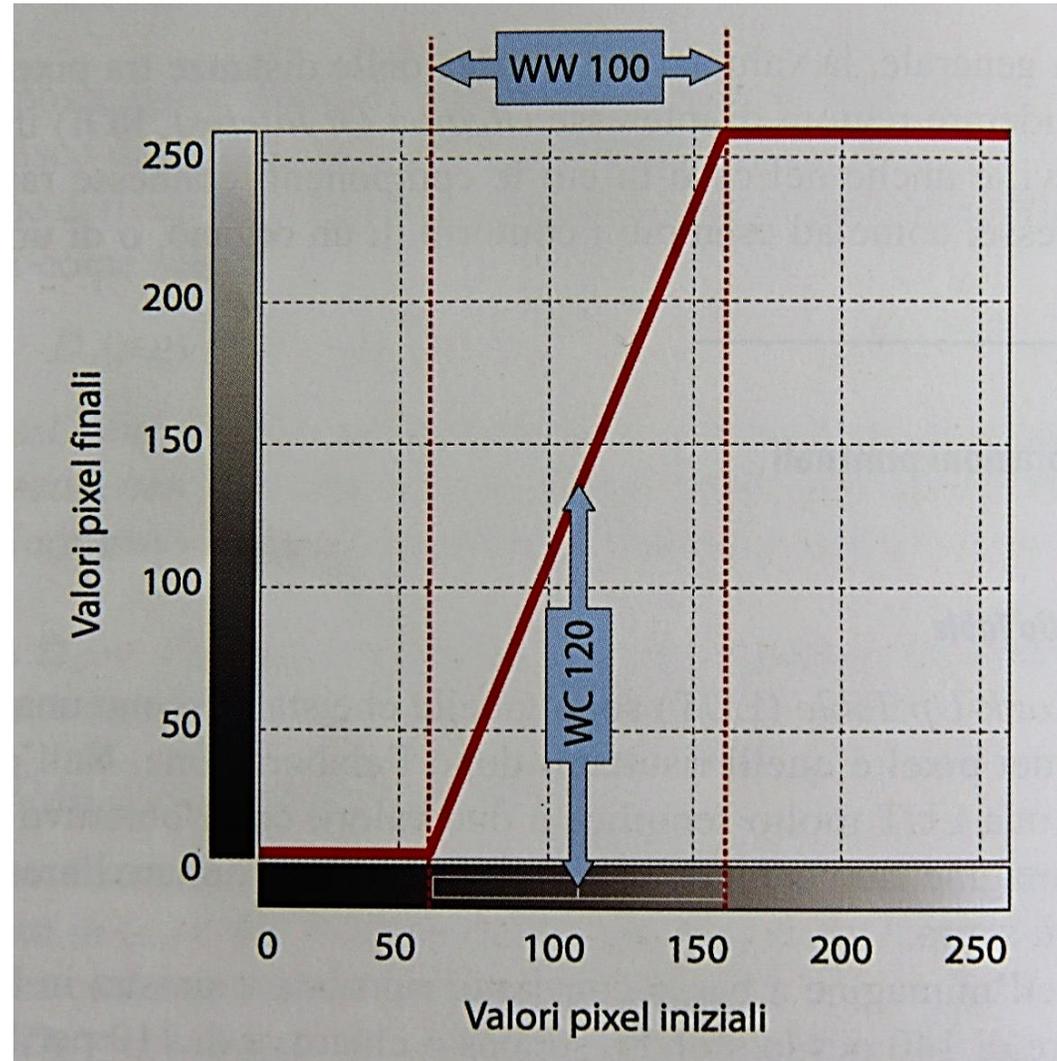
- Nelle immagini digitali è possibile effettuare delle modifiche dopo che è stata fatta l'acquisizione (*post-processing*). Ad esempio, è possibile modificare la distribuzione dei grigi e, quindi, correggere errori in eccesso (*sovraesposizioni*) o in difetto (*sottoesposizioni*) della «*densità*».

# La Radiologia Digitale: Range dinamico



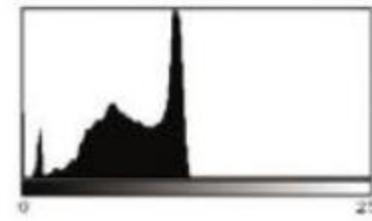
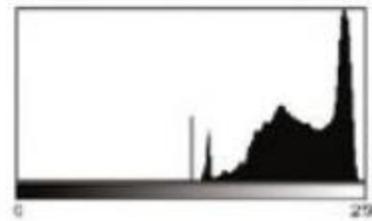
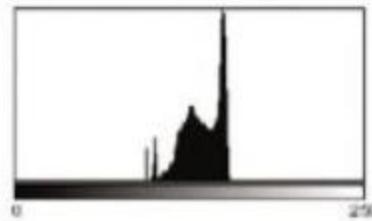
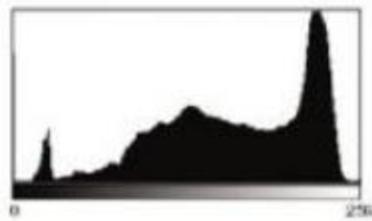
- A sin. Latitudine delle pellicole radiografiche.
- A des. Range dinamico dei sensori usati in Radiologia Digitale.

# Distribuzione dei grigi nelle immagini RX



# Distribuzione dei grigi nelle immagini RX

---



---

# La Radiologia Digitale: Vantaggi

L'adozione di un sistema di Radiografia Digitale può portare diversi vantaggi:

- riduzione dell'esposizione del paziente;
- compensazione di errori di esposizione;
- elaborazione o Post-processing (luminosità, contrasto, filtri, misurazioni);
- archiviazione;
- teleconsulto.

---

# La Radiologia Digitale: Tecnologie disponibili

- Queste tecnologie sono anche distinte in tecniche **Indirette** e **Dirette**. Le tecniche indirette sono quelle in cui la trasformazione dei raggi X in informazione digitale avviene attraverso la mediazione di materiali fluorescenti. Le tecniche dirette, invece, sono quelle in cui i raggi X stimolano dei materiali semiconduttori nei quali determinano una condizione (+ o -) direttamente interpretabile dai computer.

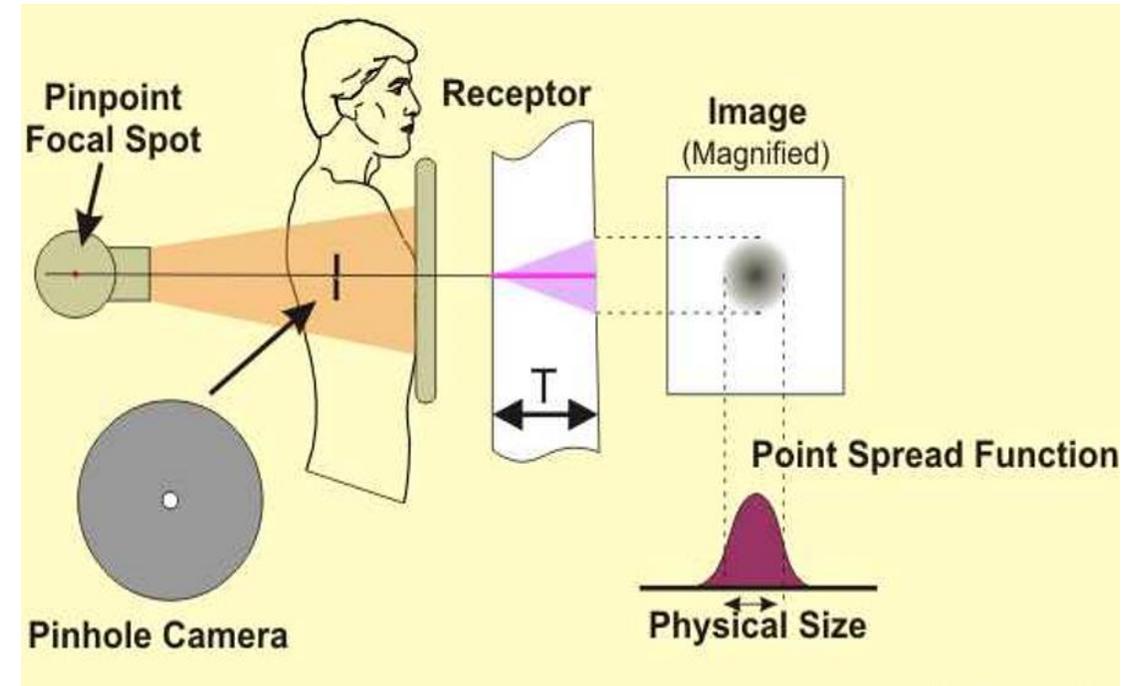
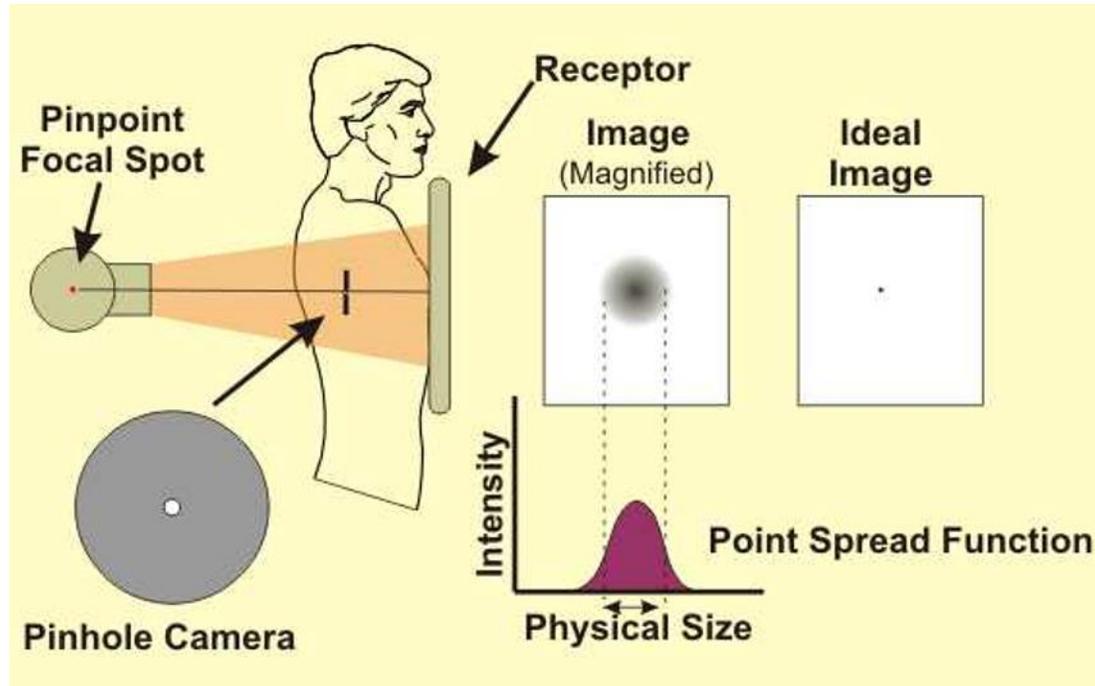
---

# La Radiologia Digitale: Tecnologie disponibili

Attualmente la Radiologia Digitale presenta diverse tecnologie. Le più diffuse sono basate su:

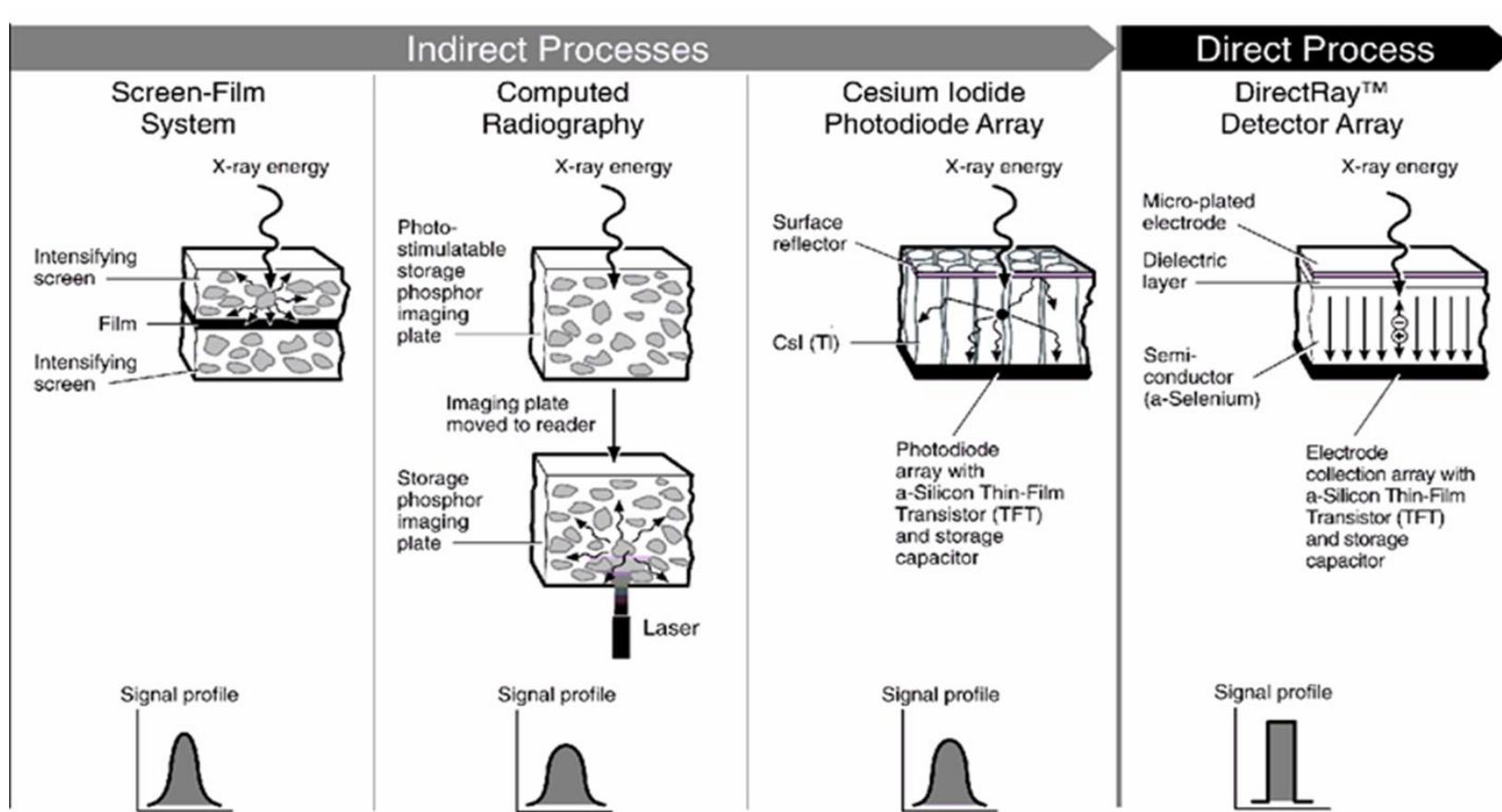
- **CR piastre di Fosfori Fotostimolabili**
  - Barifluoruro Bromuro/ioduro attivato all'eurobio o fluoruroalogenuro di bario (strutture granulari poco efficienti, spread).
  - Bromuro ioduro di cesio drogato all'eurobio (più efficienti e risolti strutture colonnari, meno spread).
- **DR**
  - fosfori di Gadolinio attivato al Terbio e Charge Coupled Device (Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S-Tb CCD); Immagini rumorose, prive di contrasto e poco risolte.
  - **TFT (Thin film Transistor) accoppiati ioduro di cesio e fotodiodi (minor diffusione, buona efficienza)**
  - TFT (Thin film Transistor) accoppiati a ossifluoruro di gadolinio e fotodiodi (maggior diffusione luce, elementi più resistenti polverulenti).
  - strato di Selenio amorfo e Thin Film Transistor – Direct Radiography (a-Se TFT – DR), (non diffusione, movimento di cariche, bassa efficienza alle alte dosi)

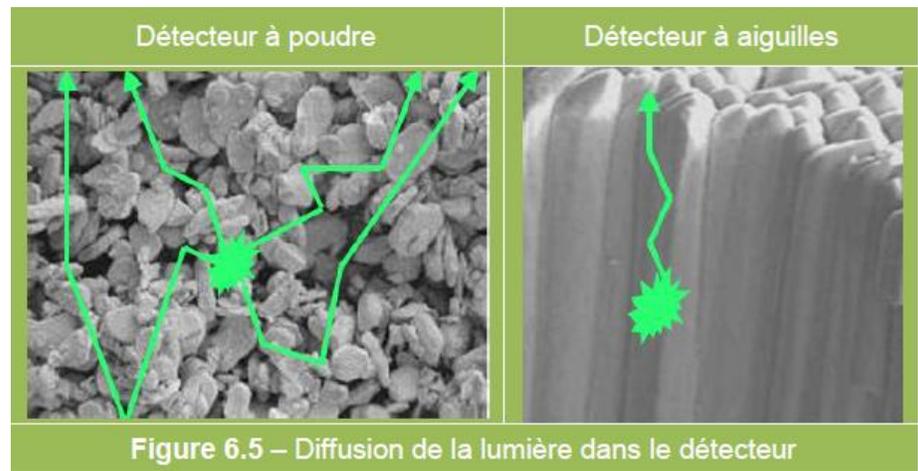
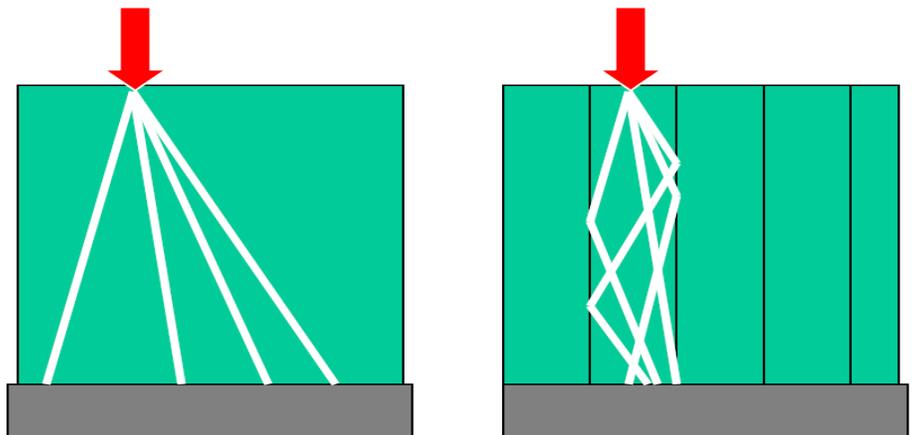
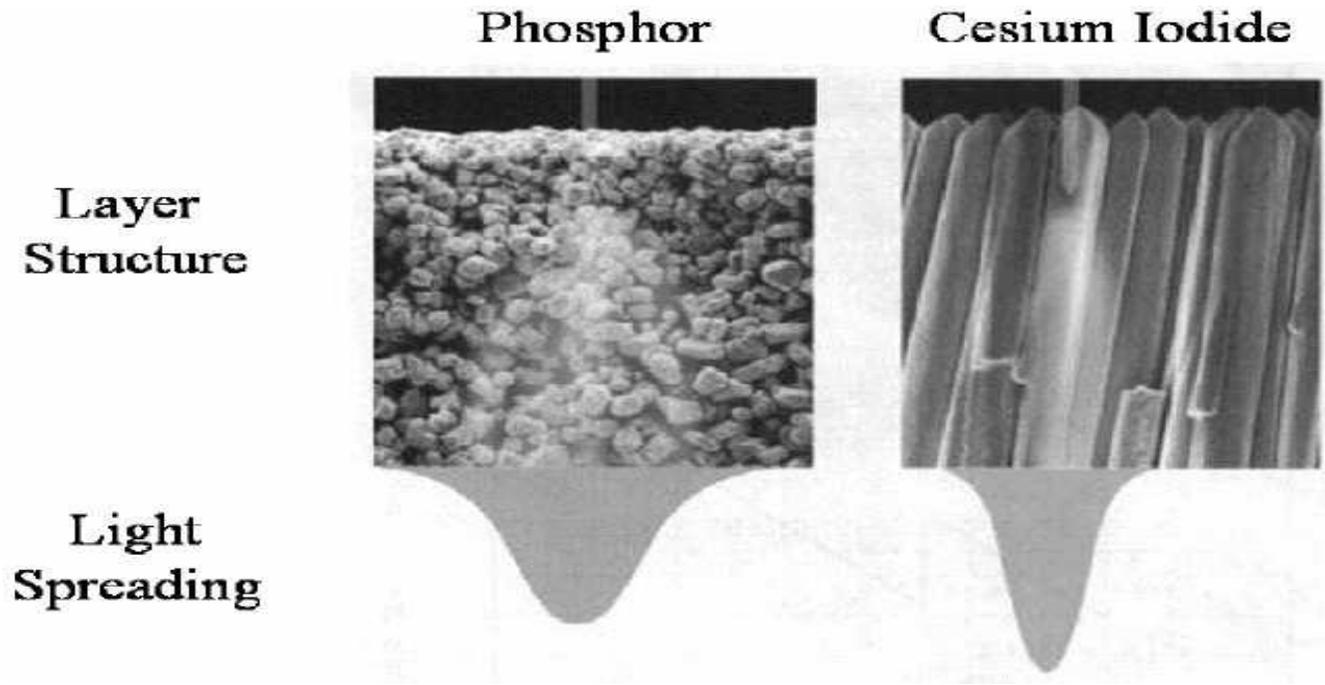
# Sfumatura/Dettaglio



# La Radiologia Digitale: Tecnologie disponibili

- Schema delle tecnologie disponibili nella Radiologia Digitale.





---

# Rapporto mAs & rumore d'immagine

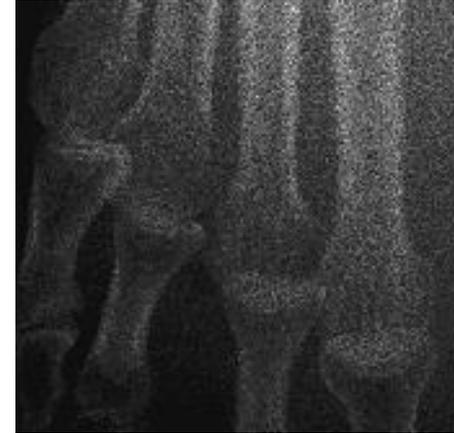
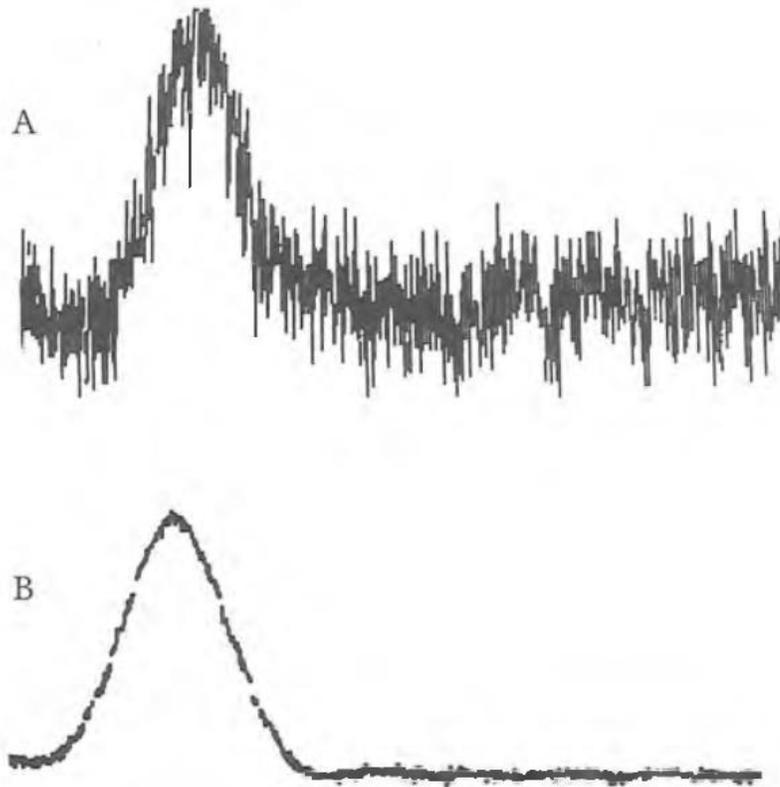
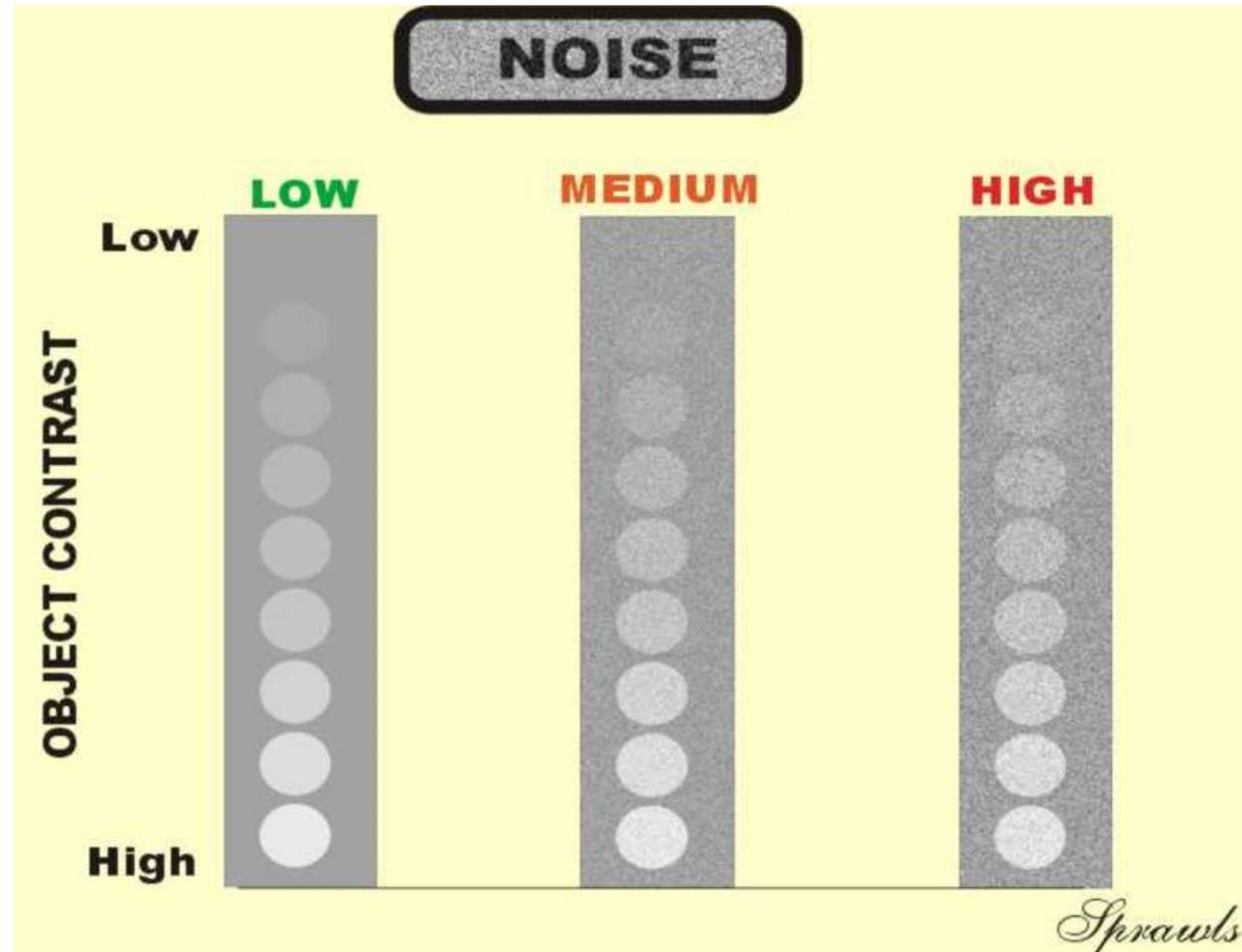


Fig. 15.7 – Riduzione dell'effetto del rumore con l'aumento del numero di misure. A: 1 misura; B: 16 misure mediate.

---

# Qualità vs rumore



---

# La Radiologia Digitale: Radiografia Computerizzata (CR)

- I rivelatori utilizzati nella CR hanno la capacità di conservare in parte l'energia trasferita dai raggi X (*sensori a memoria*).



---

# La Radiologia Digitale

## Radiografia Computerizzata (CR)

### Vantaggi:

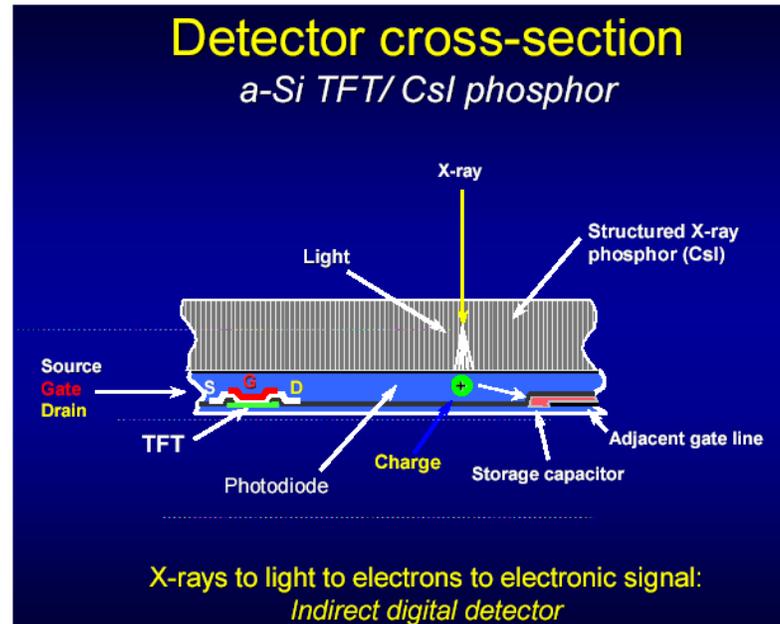
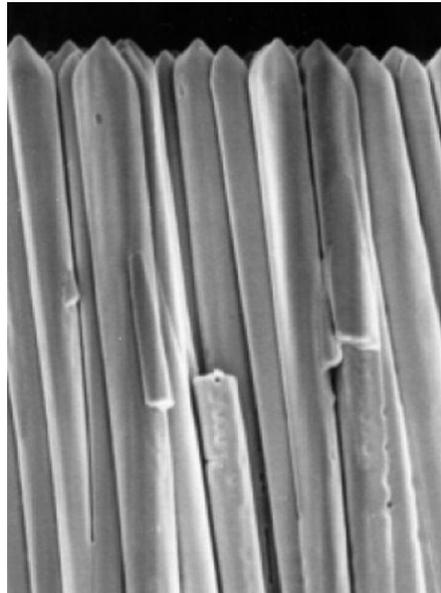
- buona risoluzione spaziale;
- alto range dinamico;
- integrabile ad un apparecchio radiologico tradizionale.

### Svantaggi:

- costi di installazione;
- tempi di attesa per le immagini.

# La Radiologia Digitale: Sistemi DR indiretti

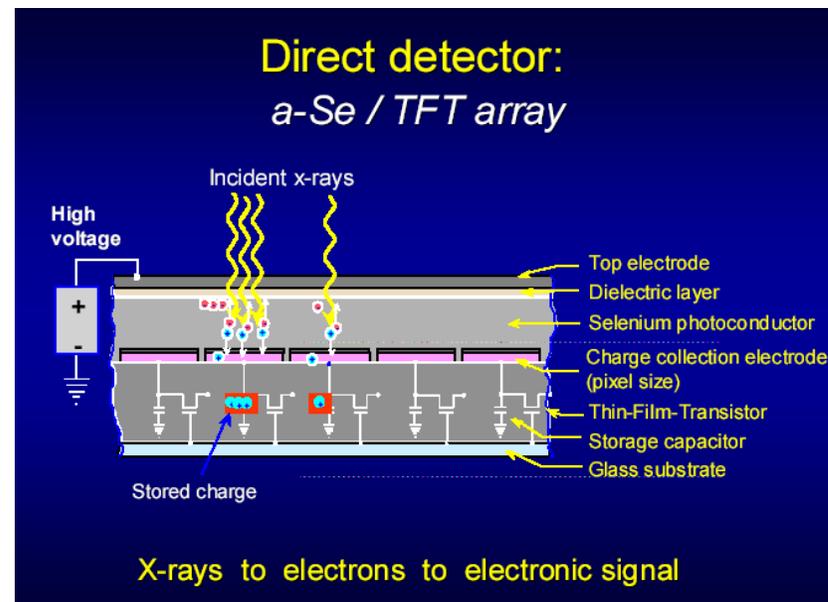
- Il materiale scintillatore più utilizzato è lo Ioduro di Cesio attivato al Tallio (CsI:Tl) che presenta il vantaggio di essere costituito da cristalli a forma di piccoli "aghi" disposti in maniera parallela tra loro: in questo modo la luce generata dall'interazione con i raggi X tende a mantenersi nell'ambito di un singolo cristallo migliorando così la risoluzione spaziale dell'immagine.



# La Radiologia Digitale

## Sistemi DR Diretti

- Nei sistemi diretti il TFT è accoppiato ad uno strato di selenio amorfo (a-Se) che è un materiale semiconduttore nel quale i raggi X generano delle coppie di cariche che possono poi essere direttamente interpretate dai transistor del TFT senza l'intermediazione del materiale scintillatore e del fotodiiodo.



---

# La Radiologia Digitale

## Sistemi DR

### Vantaggi:

- buona risoluzione spaziale;
- alto range dinamico;
- velocità di visualizzazione dell'esame;
- integrabile ad un apparecchio radiologico tradizionale.

### Svantaggi:

- costi di installazione.

---

**Grazie per  
l'attenzione**

