

Corso di laurea in  
TECNICHE DI RADIOLOGIA MEDICA PER IMMAGINI E RADIOTERAPIA

# Aspetti teorici dell'immagine digitale



*Oscar Fiorucci*  
TSRM-CPSE



*Tubo a raggi X*



*oggetto*

*Schermi di rinforzo*

*Scintillatori*

*Rivelatori*

*Fosfori a memoria*

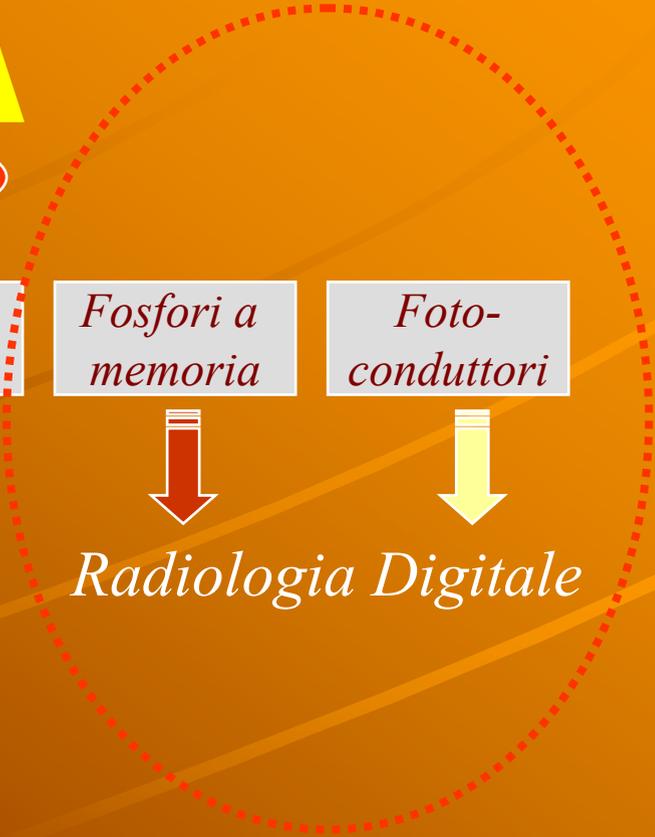
*Fotoconduttori*



*Radiologia Tradizionale*  
*Radioscopia*

*TC*

*Radiologia Digitale*



# Immagine analogica



Costituita da punti caratterizzati da gradazioni di diverse tonalità di grigio, in funzione alla quantità di fotoni X e luminosi incidenti sui singoli granuli della pellicola all'interno della cassetta.

# immagine digitale



Informazioni in forma numerica, che rappresentano variazioni di tipo "discreto" e che possono essere elaborate da un calcolatore.

# MATRICE

- ◆ Elemento fondamentale di un'immagine digitale è la **matrice**: una tabella bidimensionale di numeri interi, non negativi ciascuno dei quali può essere rappresentato all'interno di una casella definita **pixel**.



0	11	100	1	10	1	10	11	<b>0</b>
11	101	111	101	11	1	10	0	10
11	11	101	1	1	1	1	10	1
111	1	1	101	1	1	0	1	10
1	11	1	111	10	1	1	1	10
1	1	100	1	0	10	1	1	100
11	111	1	1	10	10	1	1	100
0	11	100	1	10	1	10	11	0
0	11	100	1	10	1	10	11	0

# MATRICE e BIT

• Il valore numeri di ciscun pixel è espresso in bit (binary digit).

1 bit = il pixel può assumere soltanto due valori: 0 o 1

2 bit = il pixel può assumere quattro valori: da 0 a 3

3 bit = il pixel può assumere otto valori

8 bit (1 byte) il pixel può assumere otto valori da 0 a 255

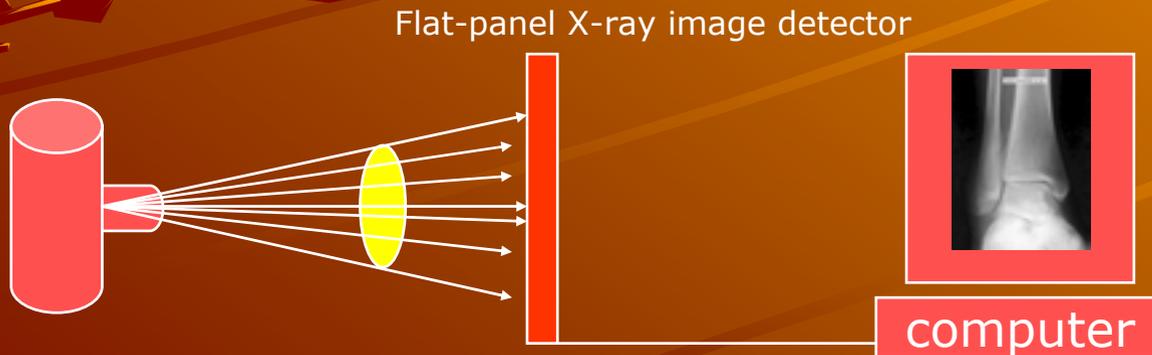
Il numero di bit/pixel consente di definire la quantità di livelli di grigio disponibili.

In Radiografia computerizzata 12-16 bit/pixel (pari a 65.536 livelli di grigio)

Bit/pixel	livelli di grigio
8	25
10	1.024
12	4.096
16	65.536

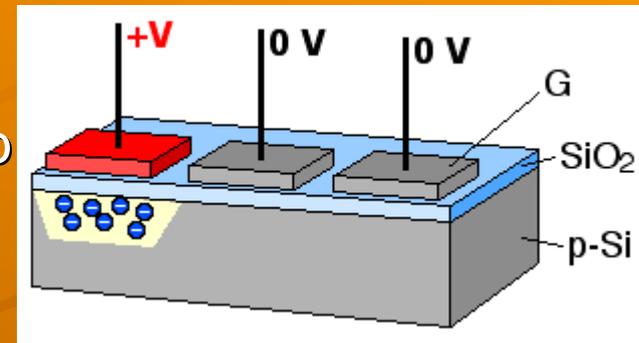
# Radiografia computerizzata

- Utilizza una serie di rivelatori a stato solido (a semiconduttore) che forniscono dati da utilizzare direttamente per l'immagine digitale in tempo reale:
  - CCD (charge coupled devices)
  - Flat panel (FPD) schermi piatti con matrice attiva.
- Il vantaggio è che non è necessario manipolare alcuna cassetta, l'immagine è trasferita direttamente al computer per l'elaborazione.
- Sarà lo standard del futuro.

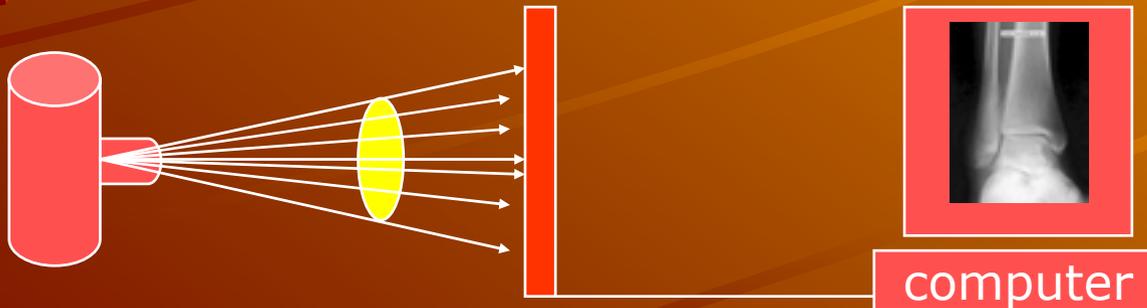


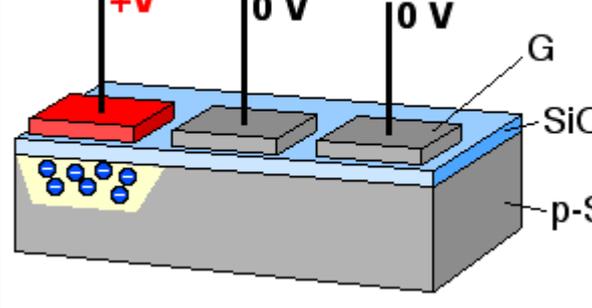
# Radiografia computerizzata

- ◆ Un CCD è un circuito integrato costruito depositando una serie di elettrodi (gate) su uno strato semiconduttore al fine di formare una serie di condensatori.
- ◆ Sensibile a fotoni o elettroni.
- ◆ I sensori del detettore (che chiamiamo pixel) sono disposti linearmente (array lineare) o su una superficie (array superficiale).

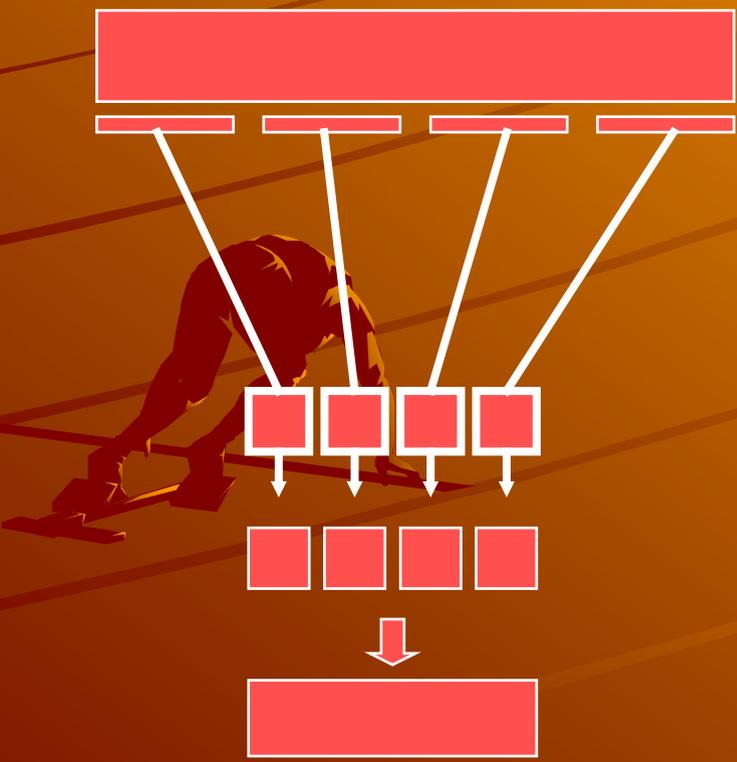


Flat-panel X-ray image detector





raggi X



Scintillatore

Luce visibile

Trasmissione

Riduzione ottica

Rivelatori CCD

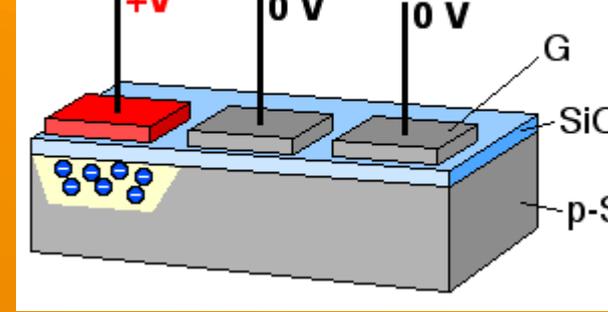
Carica elettrica

Immagini

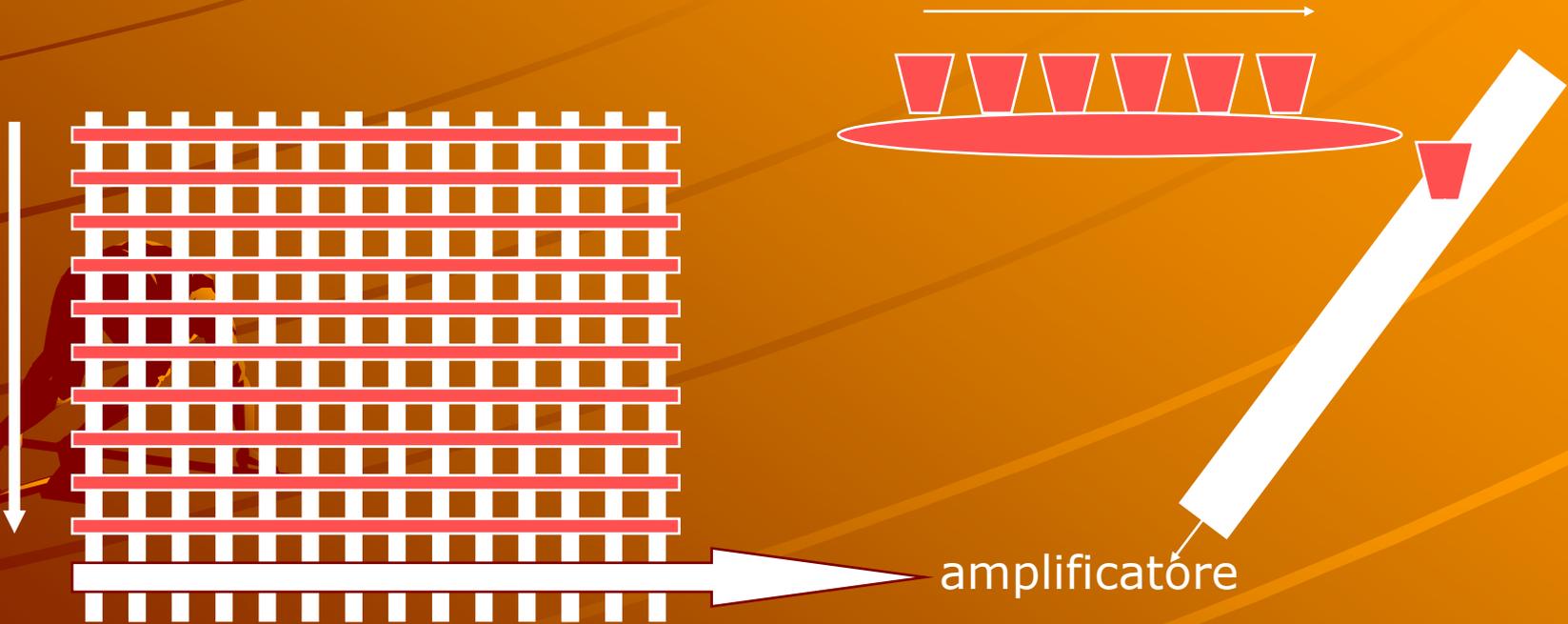
Processamento

IMMAGINE

Visualizzazione



- Lettura con analogia a "secchi d'acqua trasportati da cinghie rotanti"



- ◆ Negli ultimi anni sono stati introdotti e vengono impiegati in maniera crescente dei sistemi di rilevazione delle immagini basati sull'uso di computer e di sensori ad esso collegati (**"radiologia digitale"**).
- ◆ Le tecnologie dei rivelatori per radiografia digitale attualmente disponibili sul mercato sono suddivise in base al metodo utilizzato per acquisire le informazioni e convertire i fotoni X in carica elettrica!
- ◆ Alcuni operano questa conversione in maniera **"diretta"** ossia fotone X  $\Rightarrow$  carica elettrica, altri hanno un passaggio intermedio ossia fotone X  $\Rightarrow$  fotone luminoso  $\Rightarrow$  carica elettrica (si parla in questo caso di conversione **"indiretta"** della radiazione ionizzante).

# Conversione diretta

Raggi X



Fotoconduttore  
a-Se

Matrice TFT  
(Thin Film Transistor)  
a-Si



segnale digitale  
KODAK

1. *I raggi X colpiscono il fotoconduttore*
2. *Il fotoconduttore converte i fotoni X in carica*
3. *Il segnale viene letto dal singolo pixel tramite TFT*
4. *Codifica del segnale.*

# Raggi X



Fotoconduttore  
a-Se

Matrice TFT  
(Thin Film Transistor)  
a-Si



segnale digitale



## Conversione diretta

Utilizza uno schermo piatto FPD.

Il detettore è costruito aggiungendo uno strato fotoconduttore (a-Se) in posizione adiacente al TFT in silicio amorfo e al condensatore di accumulo di carica.

Il Selenio amorfo è impiegato:

- per le sue eccellenti proprietà di rivelazione dei raggi X;
- per la sua elevatissima risoluzione spaziale,
- permette di creare ampie lastre
- economicamente vantaggioso.

Prima dell'esposizione si applica un campo elettrico attraverso lo strato di a-Se, durante l'assorbimento dei raggi X da parte del rivelatore, le cariche elettriche vengono prelevate e condotte direttamente agli elettrodi del condensatore di accumulo di carica.

# Raggi X



Fotoconduttore  
a-Se

Matrice TFT  
(Thin Film Transistor)  
a-Si



segnale digitale



# Conversione diretta

## VANTAGGI

- Immagine diagnostica digitale (post-processing, archiviazione, trasmissione)
- Qualità immagine migliore
- Effettiva riduzione della dose
- Nessuna movimentazione di cassette.
- Riduzione effettiva del tempo di esame
- Ampi margini di sviluppo tecnologico.

## SVANTAGGI

- Investimento economico
- No sistemi portatili
- Poche modalità di esame

# Conversione indiretta

Raggi X



- 1. I raggi X colpiscono lo scintillatore*
- 2. Lo scintillatore emette luce*
- 3. I fotodiode convertono i segnali luminosi in carica*
- 4. Il segnale del singolo pixel viene letto tramite TFT*
- 5. Il valore letto è codificato.*



segnale digitale

# Conversione indiretta

Raggi X



Scintillatore  
CsI

Fotodiodo  
a-Si

Matrice TFT  
(Thin Film Transistor)



GE-VARIAN

Raggi X



Scintillatore  
CsI

Fotodiodo  
a-Si

Diodo di  
commutazione



SIEMENS-PHILIPS

Raggi X



Scintillatore  
(Ossisolfuro di gadolino)

Sistema ottico  
(lenti)

CCD



SWISSRAY

# Conversione indiretta

Raggi X



Scintillatore

Fotodiodo

Matrice TFT  
(Thin Film Transistor)



segnale digitale

Le tecniche che comportano una conversione indiretta del segnale sono , in linea di principio, due:

- 1) tecnologia CCD
- 2) tecnologia FPD.



Raggi X



Scintillatore

Scintillatore di Gadolino

Sistema ottico  
(lenti)

CCD

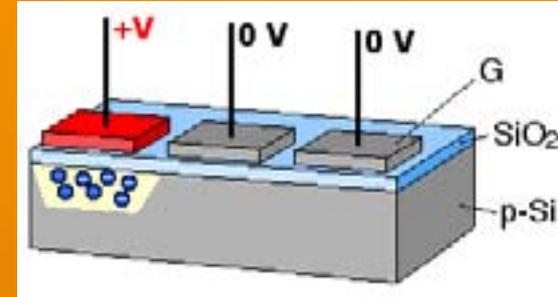


segnale digitale



# Conversione indiretta

## 1) TECNOLOGIA CCD



(Charge coupled device = dispositivo ad accoppiamento di carica) è costituita da uno scintillatore di gadolino (materiale che assorbe l'energia dei raggi X e rimette parti di quell'energia sotto forma di luce visibile), una parte di ottica fatta da lenti ed il rivelatore vero e proprio che è una matrice CCD (meccanismo di acquisizione delle telecamere e fotocamere digitali).

# Conversione indiretta

Raggi X



Scintillatore  
CsI

Fotodiodo  
a-Si

Matrice TFT  
(Thin Film Transistor)



segnale digitale

## 2) TECNOLOGIA FPD

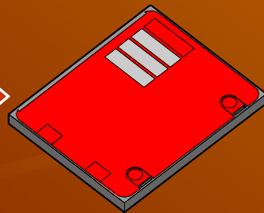
(Schermo piatto) formata da tre componenti principali che possono essere realizzati diversamente in relazione alla ditta produttrice.

Uno strato scintillatore, un fotocatodo (che converte la luce in carica) e una matrice TFT (che permette il trasferimento della carica raccolta in ogni pixel verso l'elettronica esterna).

- ✦ L'intensità dei fotoni X emergenti dal paziente viene registrata su lamine sensibili ("fosfori a memoria") che restituiscono successivamente questa informazione dopo lettura eseguita tramite un raggio laser



Fascio emergente dal paziente...



- ✦ Altri sistemi radiologici utilizzano **lamine sensibili** ad accoppiamento di carica elettrica (**"sensori a CCD"**) collegate al computer e in grado di fornire in tempo reale delle immagini digitali di piccoli distretti.



# Digitale

informazione espressa in forma numerica

- ◆ Un immagine digitale è matrice di  $N \times N$  pixel, a ciascun pixel corrisponde un determinato livello di grigio

- ◆ La dimensione del pixel caratterizza la risoluzione dell'immagine acquisita

- ◆ Il valore del livello di grigio associato ad ogni pixel dipende dalle caratteristiche fisiche dell'oggetto di cui si acquisisce l'immagine. Varia tra un valore max ed uno min. dipendente dal n° di bit/pixel del sistema



# Digitale

informazione espressa in forma numerica



35x43cm SR:	<b>2048x2508</b>	6 pixel/mm
35x43cm HR:	<b>3072x3763</b>	9 pixel/mm
35x35cm SR:	<b>2048x2048</b>	6 pixel/mm
35x35cm HR:	<b>3072x3072</b>	9 pixel/mm
21x43cm:	<b>1792x3763</b>	9 pixel/mm
24x30cm:	<b>2035x2560</b>	9 pixel/mm
18x24cm:	<b>1520x2035</b>	9 pixel/mm
15x30cm:	<b>1249x2560</b>	9 pixel/mm
8x10":	<b>1620x2048</b>	9 pixel/mm
10x12":	<b>2120x2560</b>	9 pixel/mm

Per risoluzione standard=12 bit/pixel, equivalente a 4096 livelli di grigio

- ✦ Per poter trattare le immagini (segnali) analogiche è necessaria una operazione di conversione delle immagini (segnali) in digitali.

## ✦ CONVERTITORI ANALOGICO DIGITALI (ADC)



# ACQUISIZIONE DELL'IMMAGINE

## ◆ OFF-LINE

digitalizzando un  
radiogramma  
tradizionale  
(telecamere o  
scanner laser)

## ◆ ON-LINE

digitalizzazione  
dell'immagine  
latente

➤ Tubo IB + catena  
TV

➤ Detettori.

# DETETTORI

Cristallo di fosforo  
fotostimolabile

distribuiti su un supporto di  
poliestere, ricoperti esternamente  
da uno strato protettivo



# FOSFORO

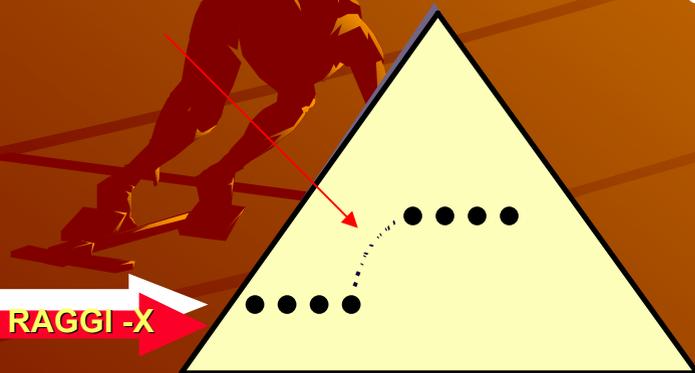
- Analogamente agli schermi di rinforzo, sfrutta il principio della luminescenza (colpito dai raggi X)
- Nei **fosfori fotostimolabili**, la conversione non è immediata, ma avviene in due fasi:
  - **Raggi x**
  - **Luce laser**



# Principio fisico dei CR

Quando un fotone X è assorbito dal fosforo (principalmente per eff. Fotoelettrico), migliaia di elettroni passano nella banda di conduzione.

Cambio di valenza



# Principio fisico del CR

Esposizione a raggi X  
SCRITTURA

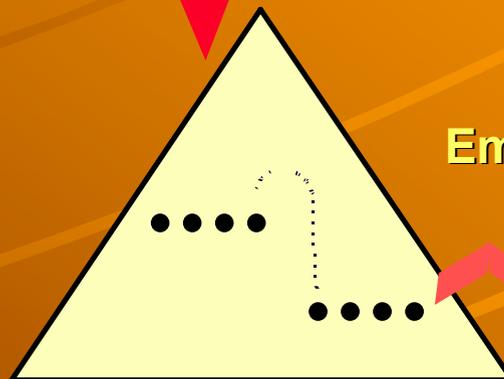
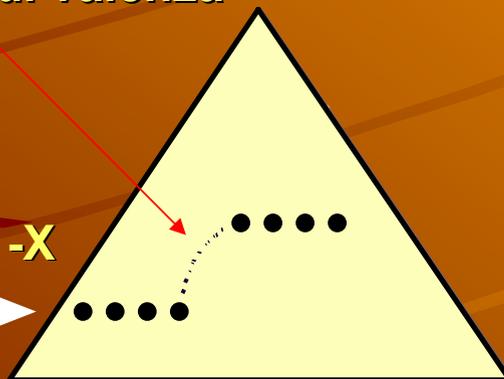
Scansione piastra  
LETTURA

Cambio di valenza

RAGGI -X

LASER

Emissione luce

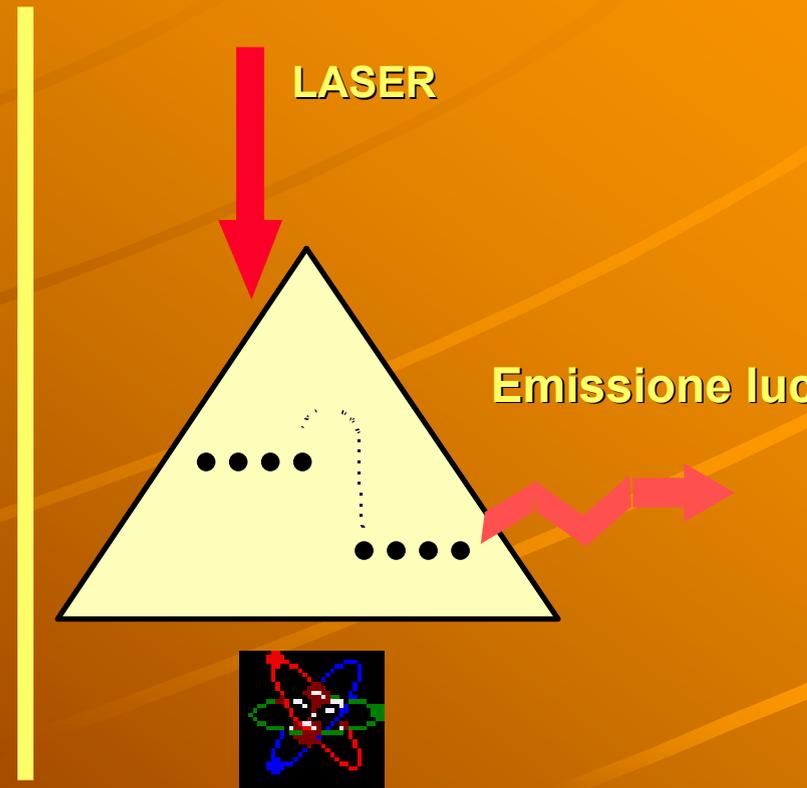


# Principio fisico del CR

In questo tipo di fosforo, definito con il termine fotostimolabile, gli elettroni possono essere intrappolati e successivamente liberati fornendo energia per mezzo di un luce laser per poi ricadere nella banda di valenza emettendo luce.

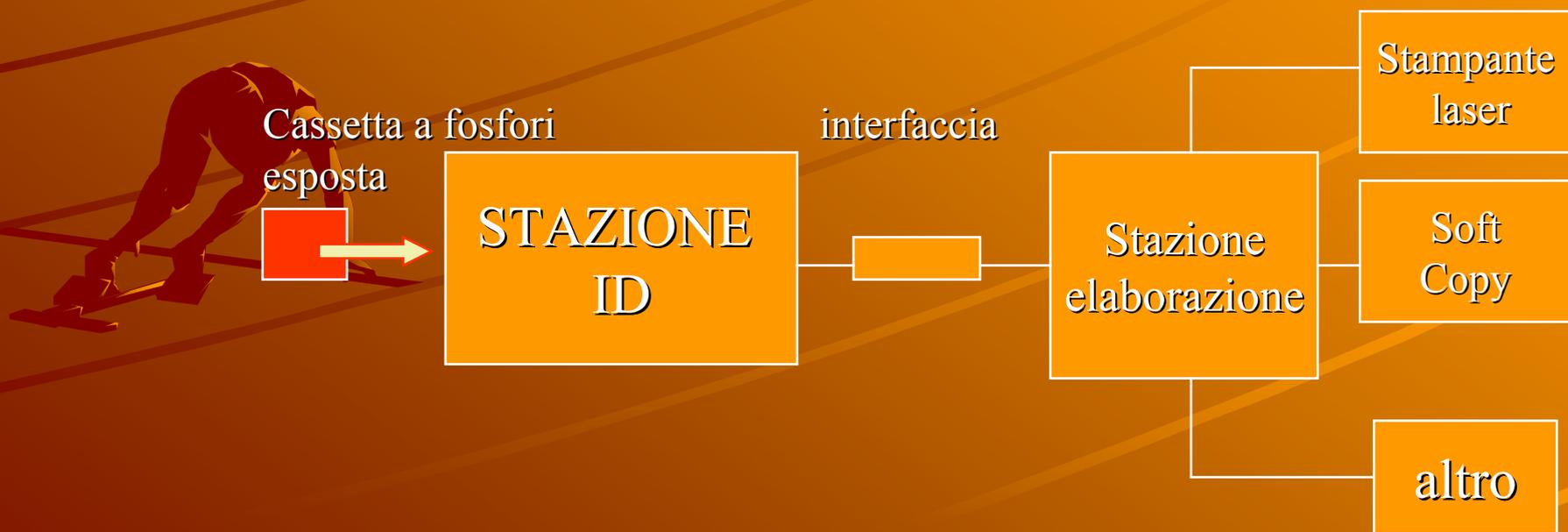


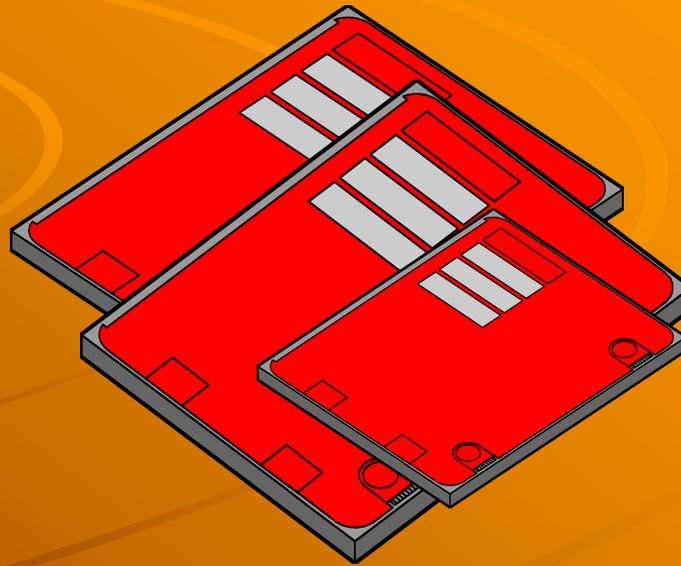
## Scansione piastra LETTURA



# COMPONENTI DEL SISTEMA

- ◆ CASSETTA
- ◆ STAZIONE ID
- ◆ INTERFACCIA
- ◆ STAZIONE ELABORAZIONE
- ◆ STAMPANTE LASER





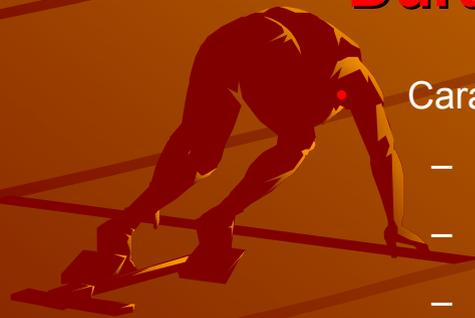
◆ Formati disponibili

- 35x43cm
- 35x35cm
- 21x43cm
- 24x30cm
- 18x24cm
- 8x10"
- 10x12"
- 15x30cm

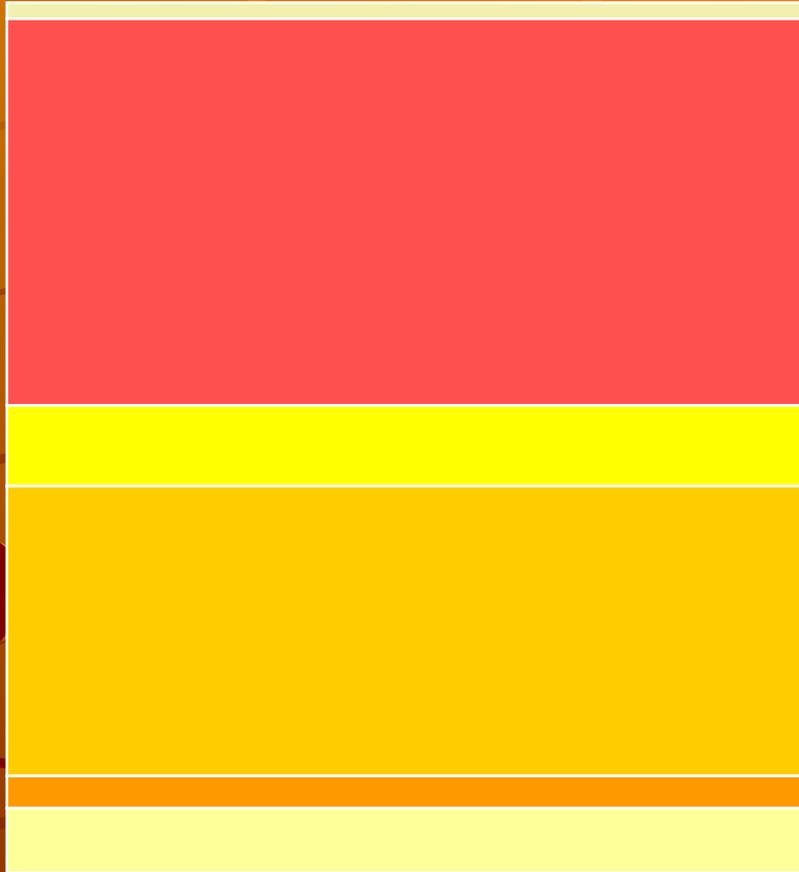
## Durata: fino a 10.000 cicli

### Caratteristiche

- Compatibili con tavoli a raggi-x esistenti
- Identificazione senza contatti tramite radio frequenza
- Maggiore sensibilità e nitidezza
- Maggiore Robustezza: rivestimento interno di policarbonato Bayer Makrolon
  - elimina problema cariche elettrostatiche
  - miglior protezione contro polvere



# Sistema detettore "Plate"



Strato protettivo (3um)

Strato di Fosforo  
(230 um)

BaSrFBrl:Eu

Strato riflettente la luce  
e conduttore elettrico

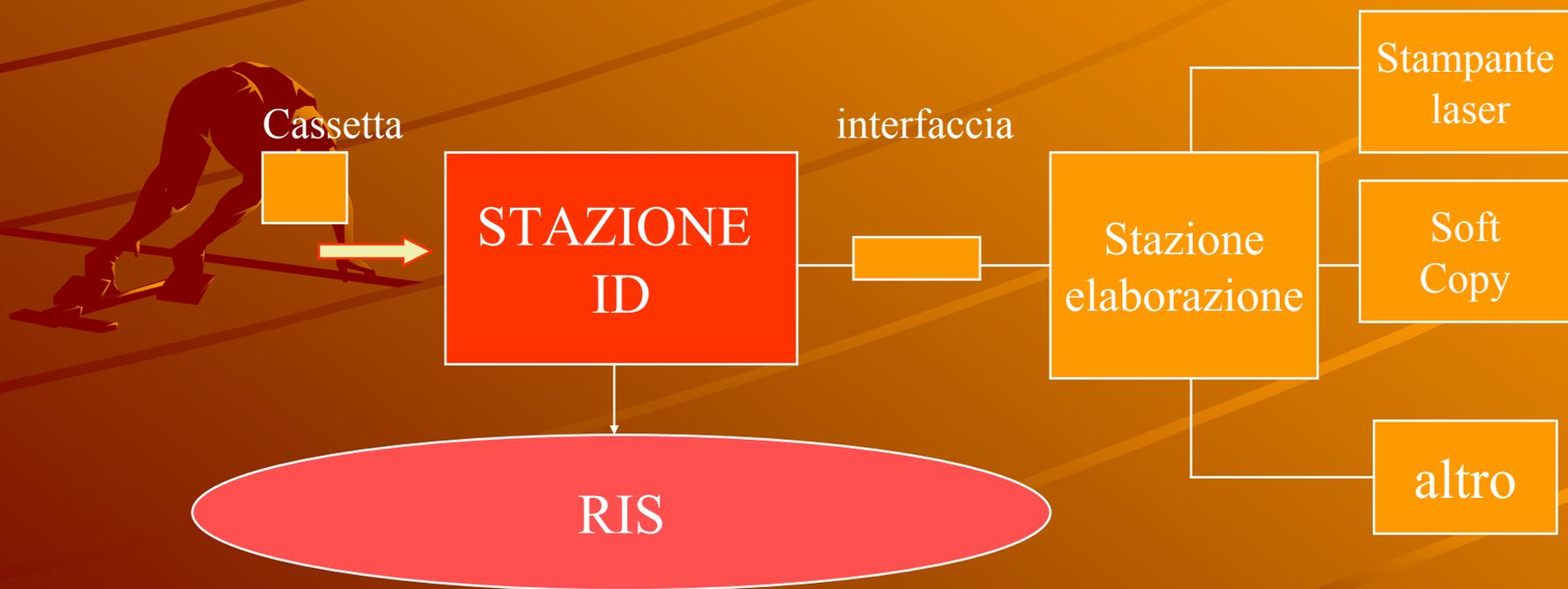
Strato di Supporto  
(340 um)

protettivo luce (20 um)

Strato protettivo  
posteriore (80 um)

# COMPONENTI DEL SISTEMA

- ◆ CASSETTA
- ◆ STAZIONE ID
- ◆ INTERFACCIA
- ◆ STAZIONE ELABORAZIONE
- ◆ STAMPANTE LASER



# Stazione di identificazione



ADC IDENTIFICATION STATION <106.93.114.31> IDENTIFICATION SCREEN  
File Configuration Mode Perform Help

**PATIENT**

Patient Name	Jones	Firstname	John
Birth date	09/01/1953	Patient ID	876567
Sex	Male	Ris identification	999876

**STUDY**

Radiologist	Adult Imaging		
Examination	CHEST	Sub examination	CHEST PORTABLE

**IMAGE**

Department	ER Radiology		
Patient position	AP		
Cassette orientation	Landscape	Exposure Class	200
Comment	Large Pt,unable to hold breath		

**DESTINATIONS**

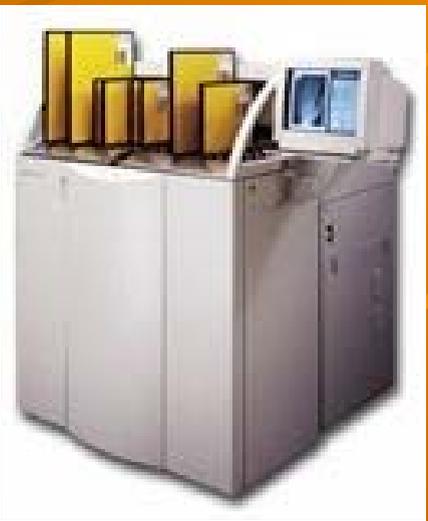
Hardcopy unit	ADC_LR1	Number of copies	1
Processing station	ADC_PS1		
Archive station	None		
Send station	None		

F1 Write F2 Clear F3 Recall F4 New patient F7 History F10 Cancel

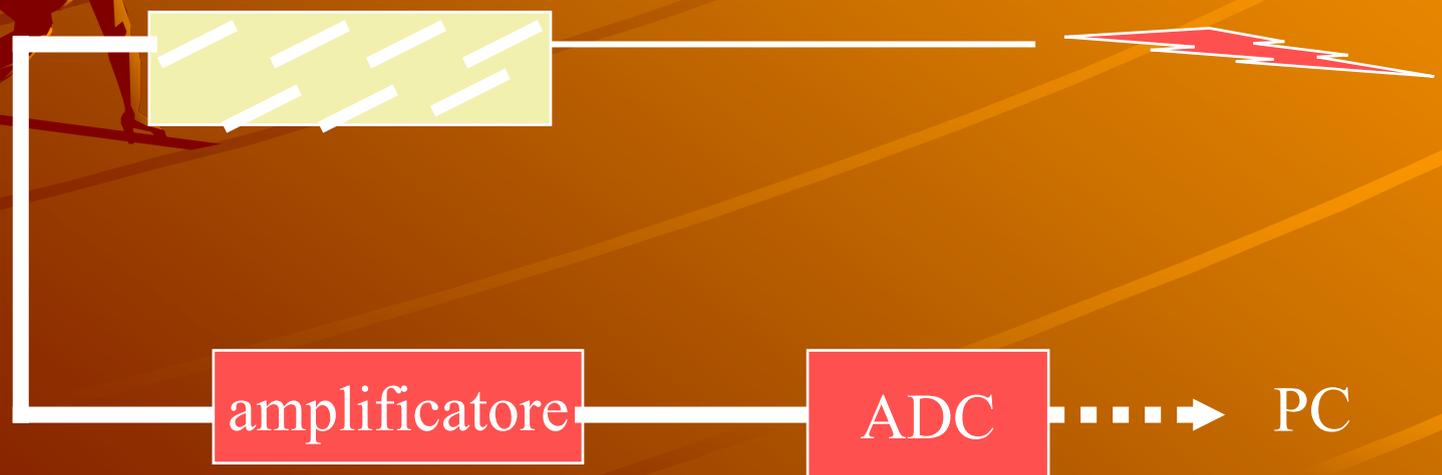
Ready for identification. |AUTO| 10/10/1997 14:33:11

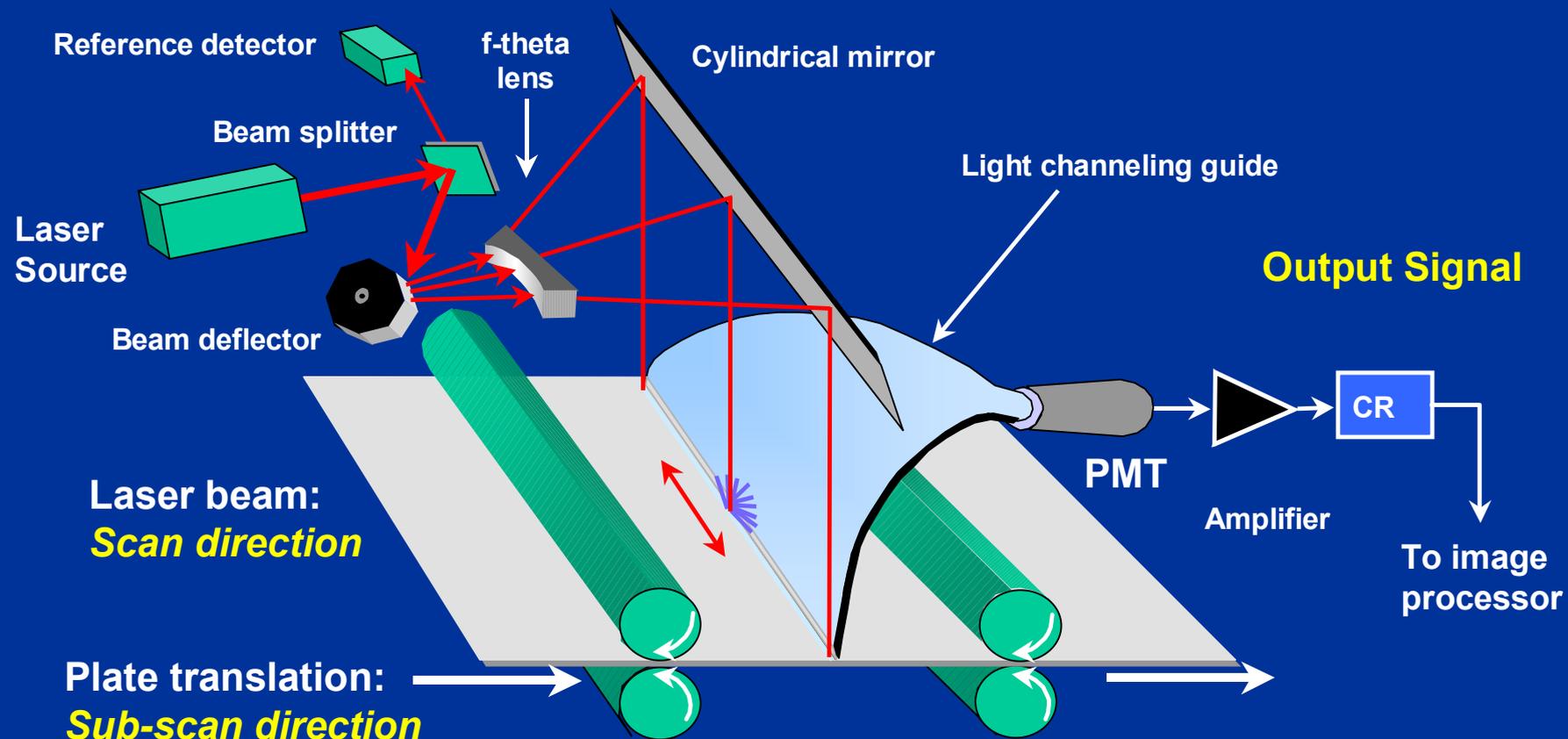
# Stazione ID

- ❖ Trasferisce i dati anagrafici del paziente ed altre informazioni su chip cassetta.
- ❖ Stazione per l'inserimento, identificazione, esposizione a luce laser del plate.
- ❖ Dispositivo meccanico per avanzamento del plates nel convertitore.
- ❖ Dispositivo per esposizione luce laser.
- ❖ Guida d'onda a luce ottica per tubo fotomoltiplicatore.
- ❖ Convertitore A/D



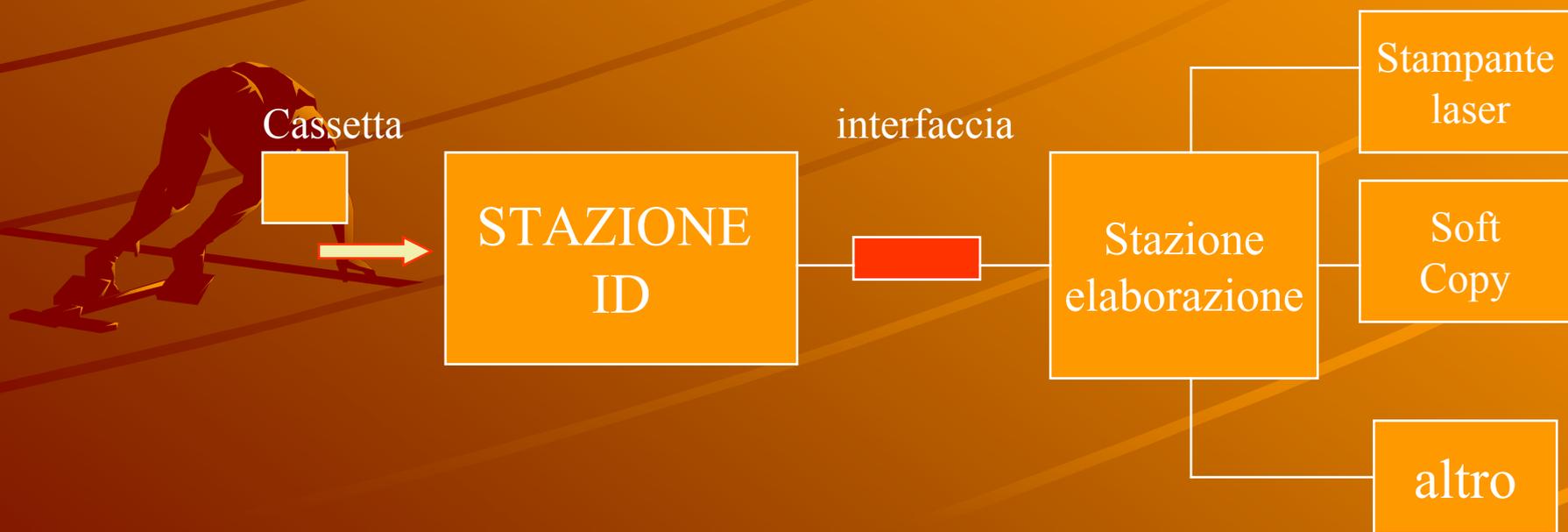
- L'emissione luminosa, viene raccolta da una guida d'onda a luce ottica ed inviata al tubo fotomoltiplicatore,
- convertita in impulso elettrico,
- amplificata
- e successivamente convertita in segnale digitale.





# COMPONENTI DEL SISTEMA

- ◆ CASSETTA
- ◆ STAZIONE ID
- ◆ INTERFACCIA
- ◆ STAZIONE ELABORAZIONE
- ◆ STAMPANTE LASER



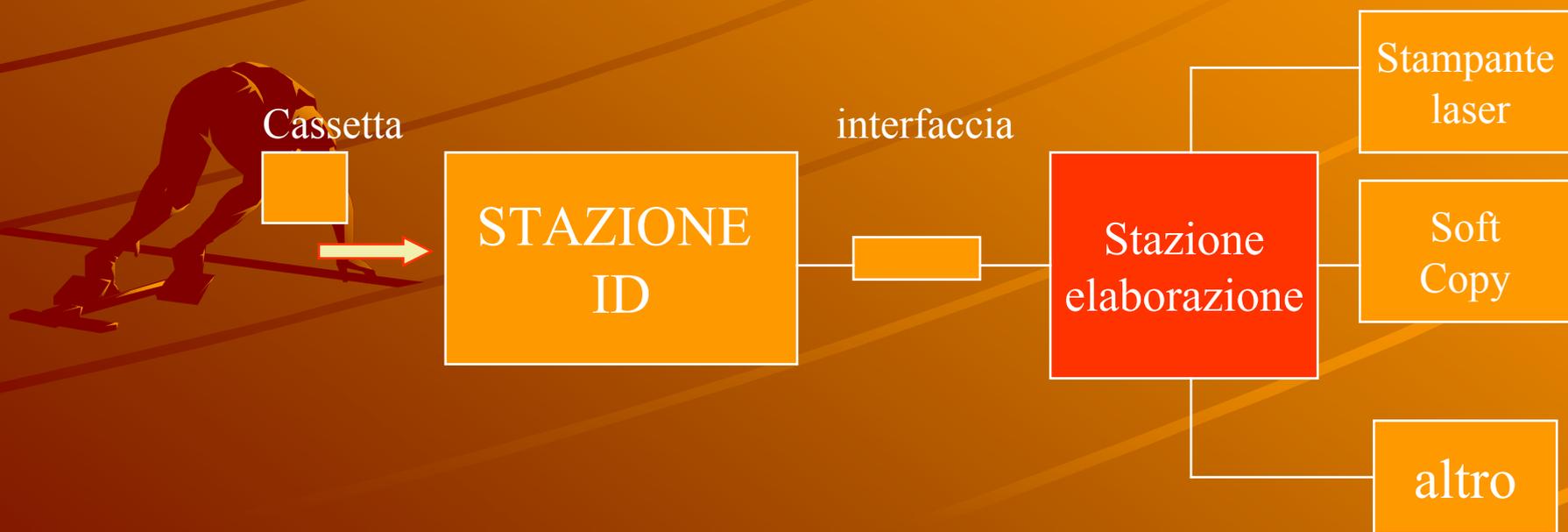
# Interfaccia

- ◆ Fibre ottiche ultraveloci, per collegare il convertitore con la stazione di elaborazione e con rete locale.



# COMPONENTI DEL SISTEMA

- ◆ CASSETTA
- ◆ STAZIONE ID
- ◆ INTERFACCIA
- ◆ STAZIONE ELABORAZIONE
- ◆ STAMPANTE LASER



# Stazione elaborazione

- ◆ Costituita da un elaboratore, che consente di realizzare una serie di operazioni sull'immagine finale.

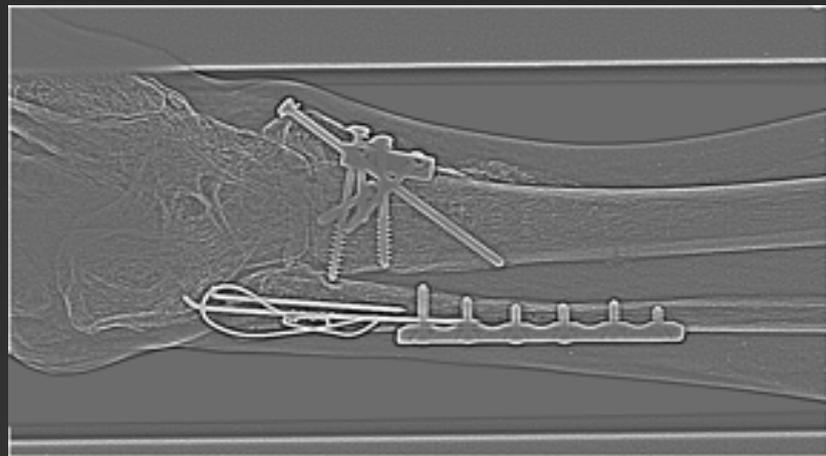


Da immagine analogica...  
... a immagine ricostruita!





Immagine originale



+ immagine ad alte frequenze

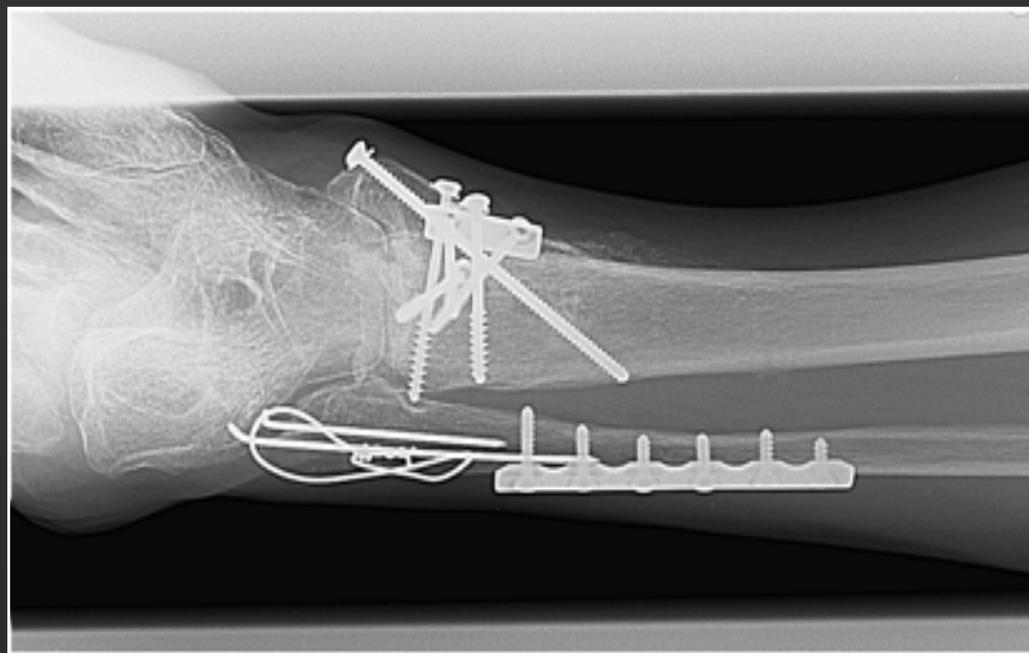


Immagine finale

## Esempio di window level

