

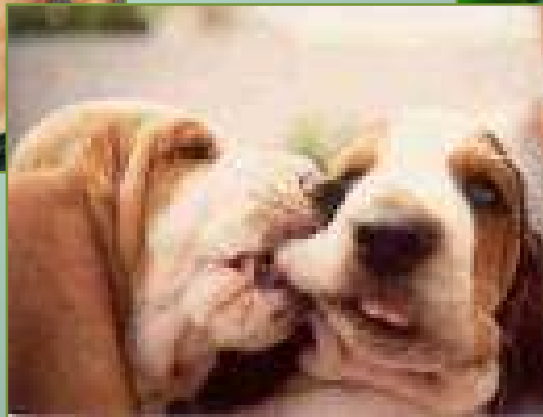


EVOLUZIONE DELLE IMMAGINI AD USO DIAGNOSTICO

Ricostruzione, visualizzazione e
modellizzazione delle immagini

Un immagine vale più di 1000 parole!!

- Nella vita di tutti i giorni le **immagini** costituiscono una sorta di linguaggio **evocativo** dotato di segni che assumono significati particolari a seconda del valore che attribuiamo a ciò che osserviamo.



Informazione

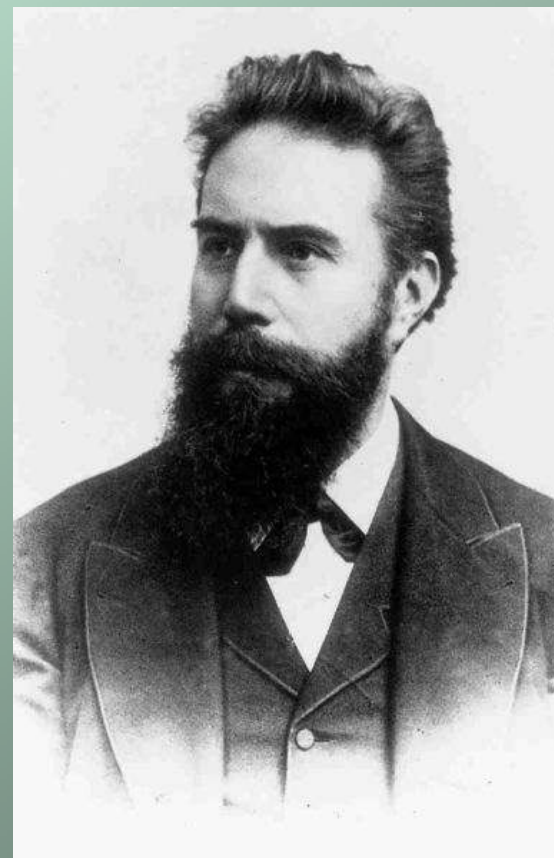
- In alcuni settori invece le **immagini** contengono un' informazione valutabile oggettivamente, in modo quantitativo oltre che qualitativo, per esempio in:
 - Medicina (raggi X, risonanza magnetica, tomografie computerizzate)
 - GIS (Geographical Information Systems) (immagini satellitari, mappe)
 - Criminologia (impronte digitali, volti)
 - Scienza dei Materiali (metallurgia, geologia,...)
 - ...
- In questi ambiti si sono maggiormente concentrati gli sforzi per la definizione di tecniche di **Information Retrieval** efficienti ed efficaci
- Le tecniche di elaborazione delle immagini servono infatti a dare risalto ai particolari presenti, a renderli evidenti per tutti.

Come eravamo

- Fino alla fine **dell'800** indagare la struttura di un corpo umano senza usare dei **cadaveri** era semplice **utopia.**

La svolta

- Nel 1895 **Wilhelm Conrad Roentgen** si accorse di uno strano fenomeno di **luminescenza** dato dal fluire di corrente elettrica all'interno di un tubo di vetro dal quale era stata eliminata l'aria.
- Egli chiamò questo fenomeno radiazione **X** o **Raggi-X**.
- Ulteriori esperimenti mostrarono la capacità delle radiazioni X di **penetrare diversi tipi di materiali e di produrre immagini su lastre fotografiche**.



Wilhelm Conrad Roentgen

La diagnostica per immagini

- Quando il mondo venne a conoscenza della scoperta di Roentgen, diversi altri studiosi resero possibili le sue **applicazioni pratiche**.
- La possibilità di **guardare all'interno del corpo** umano, apriva delle nuove e incredibili possibilità per la medicina.
- L'utilizzo dei raggi X si diffuse molto velocemente in tutta l'Europa e negli Stati Uniti e la diagnostica per immagini cominciò a diventare una **branca medica** a se stante.



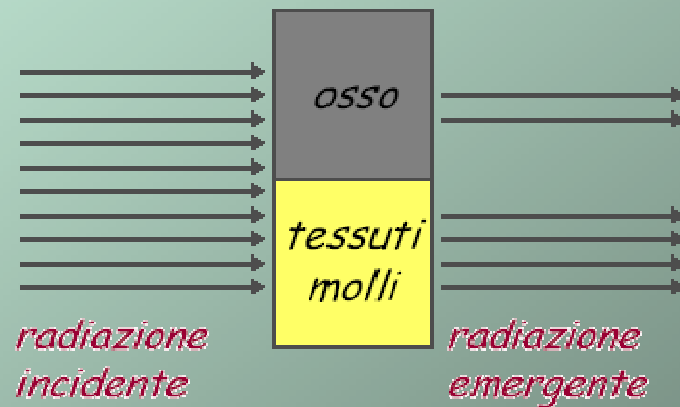
1895 Le prime 3 radiografie anatomiche della storia

Principi di radiologia (1)

- Le immagini da raggi X sono ottenute generando un potente **fascio di raggi X** e facendolo passare attraverso il **corpo** del paziente.
- Tali raggi possono essere:
 - assorbiti dai tessuti del paziente
 - deviati dagli urti con gli atomi del corpo
 - passare indisturbati
- Le frazioni in gioco dipendono **dall'energia** dei raggi utilizzati e dal tipo di **tessuto** irradiato.

Principi di radiologia (2)

- Il fascio uscente dal paziente deve essere reso **visibile**
- Nella prima metà del 1900 venivano usati opportuni strati di fosfori su vetro (**fluoroscopia**): i raggi X colpivano lo strato, che emetteva luce ed il radiologo, di fronte al paziente (e al fascio di radiazione), osservava quanto visibile sul vetro.
- Questa geometria, date le quasi nulle **protezioni dalle radiazioni**, generò molti casi di **morte** tra i radiologi.



I vantaggi

- L'avvento della Diagnostica per Immagini diede la possibilità di **prevedere** l'insorgere di diversi tipi di **malattie**.
- Permise ai **medici**, di avere maggiori e più precise informazioni sulle quali basare le proprie osservazioni.
- I primi passi evolutivi furono indirizzati soprattutto verso lo sviluppo di **strumentazioni** che permettessero un maggiore controllo sul flusso dei raggi X.
- Parallelamente, lo sviluppo di nuove tecniche per la **stampa** delle **immagini radiografiche** (pellicole al posto di lastre), permise di ottenere immagini sempre più nitide e significative.

Film fotografici

- La situazione migliorò notevolmente con l'uso di **film fotografici** messi a contatto con il paziente, all'interno di speciali contenitori che nascondevano il film alla luce.
- Impressionati dai raggi X, tali film (lastre) venivano poi sviluppati, tramite un **procedimento fotografico**; questo permetteva al radiologo di osservare con calma la radiografia, senza **problemi** di radiazione, su uno schermo illuminato in modo uniforme (negativoscopio o diafanoscopio).

Schermi fotografici

- Nella **seconda metà del 1900** vennero introdotti schermi al Tungstato di Calcio da parte della francese **Dupont**, in grado di convertire i raggi X in luce:
 - se posti a contatto con il film, dopo lo sviluppo, si aveva una radiografia, che da un lato era un po' meno definita nei dettagli, ma che in compenso permetteva di avere un'immagine con una dose di radiazioni ridotta almeno di un fattore 10, con riduzione del rischio per il paziente.
 - Il film poteva anche essere **sensibile su entrambe le facce**, ciascuna a contatto con un schermo, in modo da ridurre ulteriormente la dose.
- La situazione è ulteriormente migliorata negli anni **1960**, con l'introduzione di schermi alle **Terre Rare** (Ossisolfuro di Gadolinio) da parte dell'italiana **Ferrania**: l'efficienza aumentò e in corrispondenza la dose per esame fornita al paziente diminuì ulteriormente.
- Ulteriori perfezionamenti riguardarono sia il film (aumento della qualità dell'immagine, sviluppo a tempi ridotti) che gli **schermi di rinforzo** (aumento dell'efficienza), portando questi sistemi vicini al **limite tecnologico**.

I mezzi di contrasto

- Nel 1927 vengono introdotti i mezzi di contrasto **uroangiografici**, utilizzati per la visualizzazione
 - delle vie escretrici
 - previa somministrazione **per** via venosa
 - dell'albero vascolare
 - previa infusione endoarteriosa (un tempo direttamente nell'aorta, con rischio non indifferente di causare ematomi, ora via catetere dalla femorale).
- **L'angiografia** ha oggi un ruolo modesto nella **diagnostica**, molto maggiore nella radiologia preoperatoria o intraoperatoria.

Immagini radiografiche (1)

- L'uso dei raggi X in **diagnostica** si basa sulla proprietà delle strutture anatomiche di attenuare in maniera più o meno accentuata le radiazioni che le attraversano.
 - Tanto più **forte è l'attenuazione**, tanto più la struttura risulta **radio-opaca**.
- La radio-opacità è direttamente proporzionale:
 - al **numero atomico** dei costituenti chimici della struttura
 - alla **densità di aggregazione** degli stessi
 - allo **spessore** della struttura
- La **radiotrasparenza** è, *au contraire*, inversamente proporzionale alle caratteristiche suddette e direttamente proporzionale **all'energia del fascio**.

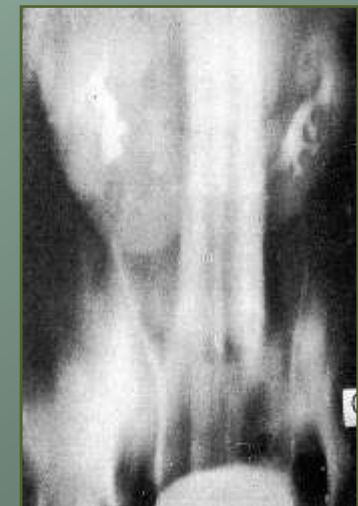
Immagini radiografiche (2)

- L'immagine radiologica può essere ottenuta per mezzo di
 - **radiografia**, cioè indirizzando i raggi X ad impressionare una pellicola fotografica (costituita di bromuri d'argento) o su altri supporti fotosensibili, come immagine in negativo
 - **radioscopia**, cioè indirizzando i raggi X su uno schermo fluorescente che emetterà una luce più intensa dove colpito dalle radiazioni ionizzanti e pertanto creando un'immagine in positivo.



Stratigrafia

- Nel **1930** è inventata la **stratigrafia**, che ovvia al grosso limite della radiografia diretta di *appiattare su una pellicola l'immagine tridimensionale del corpo*.
- Questo nuovo procedimento permetteva di esaminare **differenti strati** su un piano **frontale** o **sagittale** ed è alla base della moderna TAC.



Differenze

- A differenza della radiografia convenzionale la stratigrafia permette di **documentare iconograficamente** solo lo strato desiderato eliminando, sulla base di principi di geometria proiettiva, le strutture circostanti confondenti.
- La tecnica consiste nel **movimento sincrono e opposto** di tubo radiogeno e pellicola impressionabile. Tale movimento, con fulcro sul piano iconograficamente significativo, permette la *cancellazione delle strutture che si trovano al di fuori del centro di rotazione* (o "di simmetria") del movimento stesso.

Punti critici

- Tale tecnica è *poco adatta* allo studio di **strutture fini e complicate**.
- Inoltre determina alcuni **artefatti** di trasporto nella direzione del movimento di pendolazione detti "*ombre parassite*", maggiori in caso di strutture complesse.
- Per separare brillantemente questo problema la stratigrafia si può giovare di apparecchi a movimenti più complessi.
- Rimane comunque indubbia la **non trascurabile** irradiazione del paziente dovuta ai **tempi diagnostici** e alla necessità di **elevate dosi di radiazione**.

Ecografia

- Il **1960** vede l'avvento dell'**ecografia**, che rivoluziona il mondo della diagnostica per immagine.
- Si basa **sull'emissione di ultrasuoni** (da parte di un cristallo di quarzo che vibra, per effetto piezo-elettrico) e sulla registrazione della loro riflessione (sempre da parte di un cristallo, che può essere il medesimo).
- Questa tecnica *distingue strutture profonde* in base alla loro tendenza a riflettere gli ultrasuoni e *registra la presenza di interfacce*.



Ecografia di un bambino di 23 settimane

Differenze

- Questa tecnica, oggi, è utilizzata routinariamente in ambito internistico, chirurgico e radiologico.
- Tale metodica viene considerata come **esame di base** o di filtro rispetto a tecniche di Imaging più complesse come TAC, imaging a risonanza magnetica, angiografia.
- L'ecografia è in ogni caso:
 - **operatore-dipendente**
 - vengono richieste particolari doti di **manualità**
 - spirito di osservazione
 - una cultura dell'immagine
 - **esperienza** clinica.

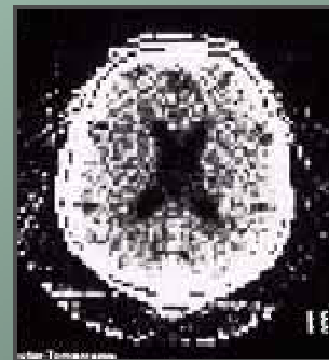
Sviluppi

- L'evoluzione più recente è rappresentata dalla tecnica TRIDIMENSIONALE:
 - a differenza della classica immagine bidimensionale, è basata sull'acquisizione, mediante apposita sonda, di un "volume" di tessuto esaminato.
- Il **volume** da studiare viene acquisito e digitalizzato in pochi secondi o frazioni di secondo, dopo di che può essere successivamente esaminato:
 - in **bidimensionale**, con l'esame di infinite "fette" del campione (sui tre assi x, y e z)
 - in **rappresentazione volumetrica**, con l'esame del tessuto o dell'organo da studiare, il quale appare sul monitor come un solido che può essere fatto ruotare sui tre assi. In tal modo si evidenzia con particolare chiarezza il suo reale aspetto nelle tre dimensioni.



La TAC

- Nel **1972** viene introdotta la TAC, che è come la stratigrafia un'evoluzione della tecnica radiografica:
 - identico è il **tubo radiogeno**
 - la differenza è che le radiazioni non sono destinate a una pellicola ma a **detettori** che mandano input a un computer atto ad elaborarli e a produrre sezioni trasversali.



Vantaggi

- I vantaggi, rispetto alla radiografia tradizionale, sono
 - quelli della stratigrafia
 - la **maggiore risoluzione di contrasto**, in quanto anche senza l'uso di un mezzo di contrasto (che comunque può coadiuvare l'indagine tomografica) la TAC distingue strutture con piccola differenze di radio-opacità (per dare un valore numerico, il radiogramma distingue solo strutture con differenze del 2,5%, la TAC dello 0,5% con un guadagno di risoluzione di contrasto del 400%) in questo caso chiamata densità e misurata in Hounsfield.
- La **risoluzione spaziale** invece è più povera di quella della radiografia tradizionale, essendo quest'ultima analogica e la TAC digitale.

Sistema di elaborazione

- ❑ le ddp generate dai detettori sono convertite in valori numerici dal convertitore analogico-digitale
- ❑ il computer centrale calcola le densità dei singoli voxel della sezione in studio con algoritmi matematici (back projection, trasformata di Fourier)
- ❑ si ottiene così un'*immagine digitale*, costituita da una griglia di numeri- *matrice* - corrispondenti ai valori di densità dei voxel studiati

Sistema di elaborazione

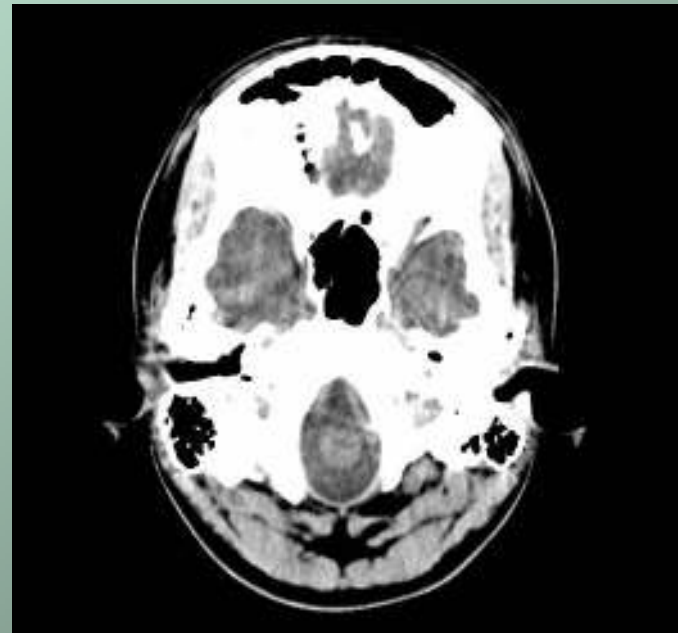
- ❑ i valori di densità attribuibili variano nel range compreso tra -1000 (aria) e +1000 (osso) unità Hounsfield, con riferimento al valore 0 che è quello dell'acqua.
- ❑ dall'immagine digitale si forma l'*immagine radiologica* proiettata sul monitor; ogni singolo pixel assume un diverso grado di luminosità sulla base del valore numerico corrispondente nella matrice

Sistema di controllo

- ❑ *console operativa* su cui immettere dati anagrafici del paziente, parametri tecnici
- ❑ possibilità di modificare le immagini (ampiezza e livello della finestra), di eseguire misurazioni e rielaborazioni delle immagini (ricostruzioni)
- ❑ collegamento a sistemi di registrazione ed archiviazione

Sistema di archiviazione

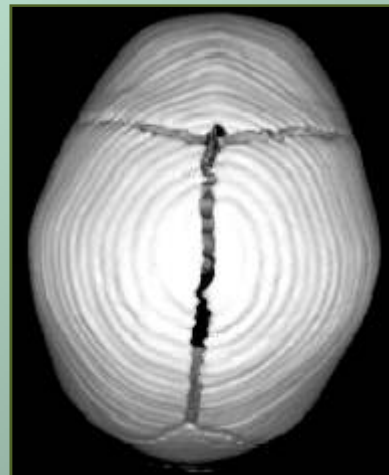
- Su supporto magnetico
- Su disco ottico
- Su CD



Tac cranica

Evoluzione della TAC

- Imaging tridimensionale



- TC spirale multistrato



Risonanza magnetica

- Nel **1980** viene per la prima volta utilizzata la **risonanza magnetica**, la tecnica che permette la maggior **risoluzione di contrasto** ed inoltre la visualizzazione di sezioni su qualsiasi piano si desidera.
- A prima vista, un'immagine di risonanza è simile a un'immagine ottenuta tramite TC, tranne per il fatto che le ossa, chiare quando viste con i raggi X, qui compaiono scure.



Uno scanner per l'MRI da 3 Tesla

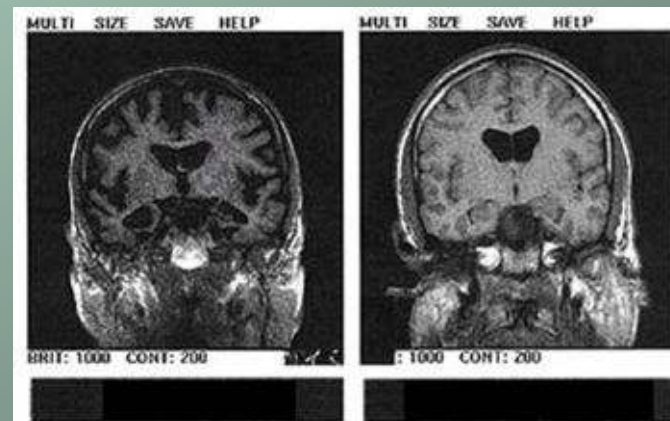
Differenze

- Le immagini di risonanza magnetica hanno una **risoluzione spaziale** intrinseca piuttosto **bassa** (particolari di 1 mm sono praticamente al limite della visibilità).
- È possibile discriminare tra un tessuto del fegato ed uno della milza (che rispetto ai raggi X presentano la stessa trasparenza), oppure i tessuti sani dalle lesioni.
- *I tempi di scansione sono molto più lunghi* rispetto alle altre tecniche radiologiche (un esame completo di risonanza magnetica dura dai 30 minuti all'ora)
- *La risoluzione temporale è generalmente piuttosto bassa* (qualche immagine al secondo per le risoluzioni spaziali inferiori).

Vantaggi

- Una caratteristica fondamentale della risonanza è la possibilità di **variare la tipologia di contrasto** dell'immagine semplicemente modificando la sequenza di eccitazione che la macchina esegue.
- Le indagini di risonanza magnetica sono indicate rispetto alla TC quando non c'è necessità di avere una altissima risoluzione spaziale, in quanto:
 - **non comporta l'assorbimento di radiazioni** da parte del paziente
 - risulta più utile in caso di lesioni localizzate in tessuti vicini a strutture ossee, che potrebbero non essere rilevabili attraverso i raggi X.

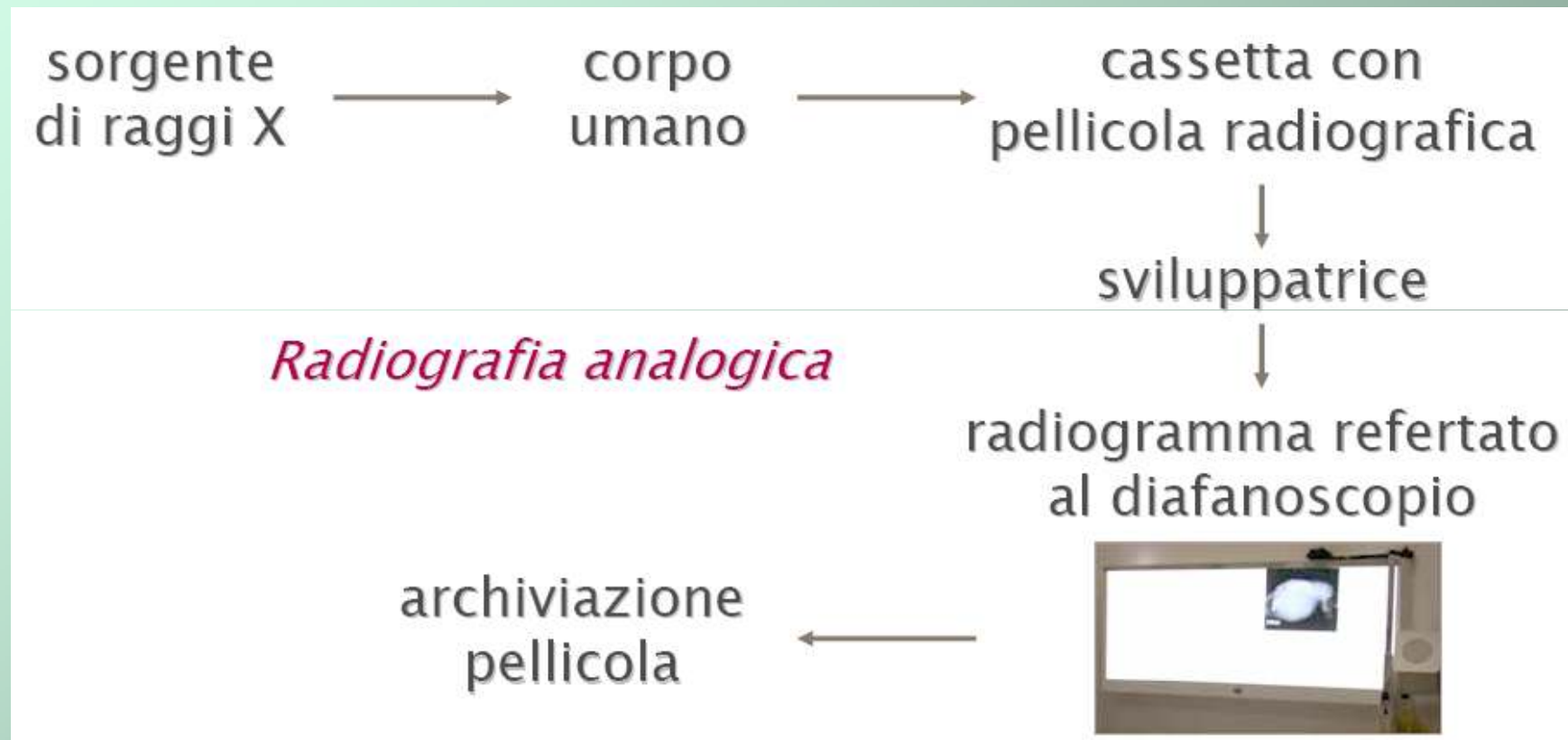
Imaging a risonanza magnetica di un cervello sano (a destra) e di un cervello affetto dal morbo di Alzheimer (a sinistra)



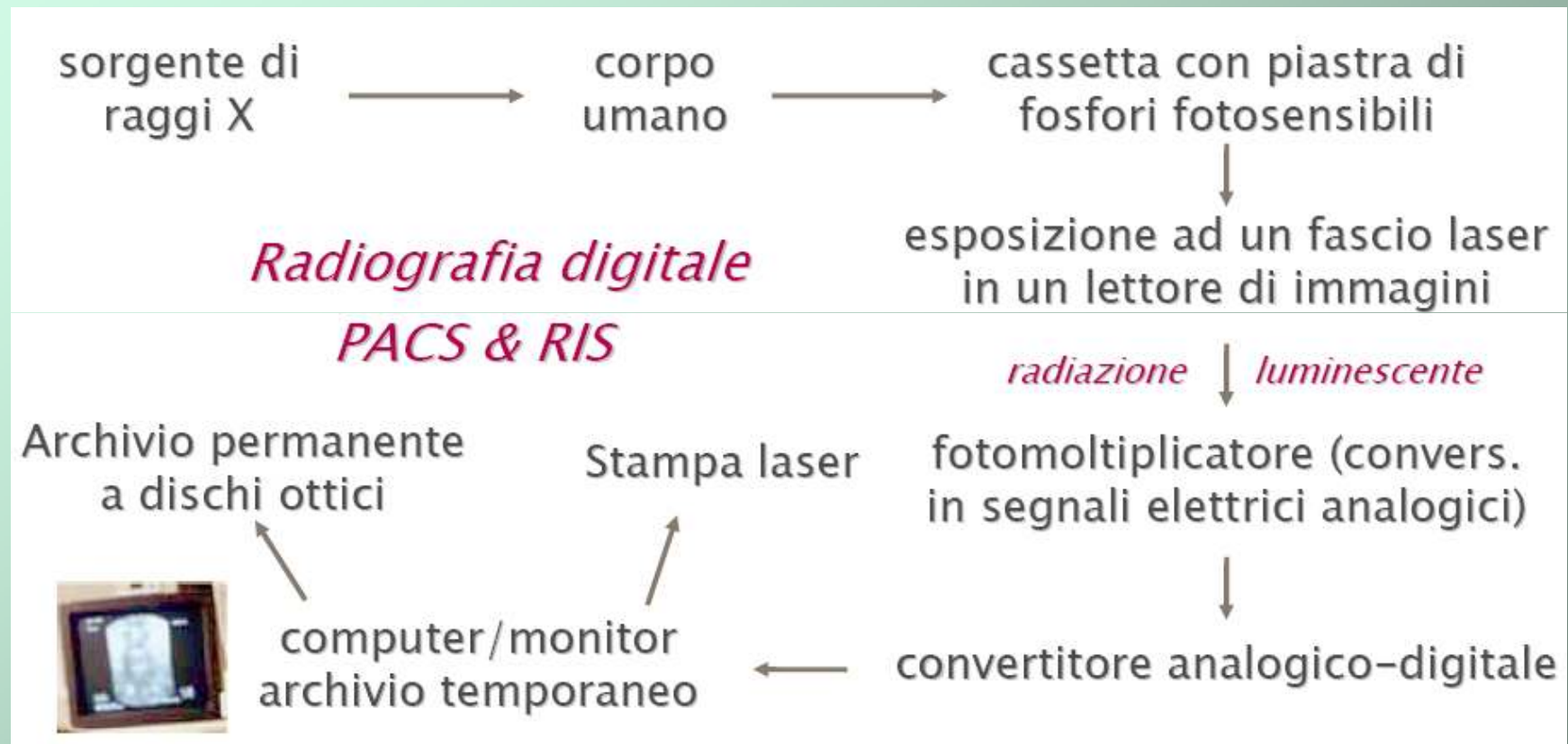
Radiografia digitale

- Nel **1981** la tecnologia digitale è applicata all'uso in **diagnostica** del tubo radiogeno con l'invenzione della radiografia digitale, che **riproduce su un monitor televisivo** l'immagine radiografica secondo due modalità:
 - una piastra ricoperta da fosfori sensibili alle radiazioni ionizzanti è scansionata da un laser e letta da un elaboratore elettronico che proietta le **immagini** sul monitor (radiografia digitale indiretta)
 - una piastra di silicio-selenio, collegata al monitor, viene **sollecitata dalle radiazioni ionizzanti** (radiografia digitale diretta)
- Questa tecnica ha diversi **vantaggi** tra cui la possibilità:
 - di elaborare le immagini per evidenziare l'una o l'altra struttura **senza dover modificare il kilovoltaggio** e il milliamperaggio
 - di ovviare a errori di kilovoltaggio
 - di **ammortizzare i costi della tecnica** in pochi anni in rapporto a quelli della radiografia tradizionale, in quanto, a differenza delle lastre comuni, le piastre a fosfori sensibili (e tanto più quelle di silicio/selenio) sono riutilizzabili
 - di visualizzare le immagini su monitor e di **archiviarle su supporto digitale** (quest'ultimo punto da non sottovalutare, visto che l'attuale normativa impone di conservare per dieci anni la documentazione radiografica).

Immagine radiologica tradizionale



Radiografia digitale



Sistema di acquisizione e trattamento di immagini digitalizzate

- Un generico sistema per immagini computerizzate può essere rappresentato dal seguente schema:

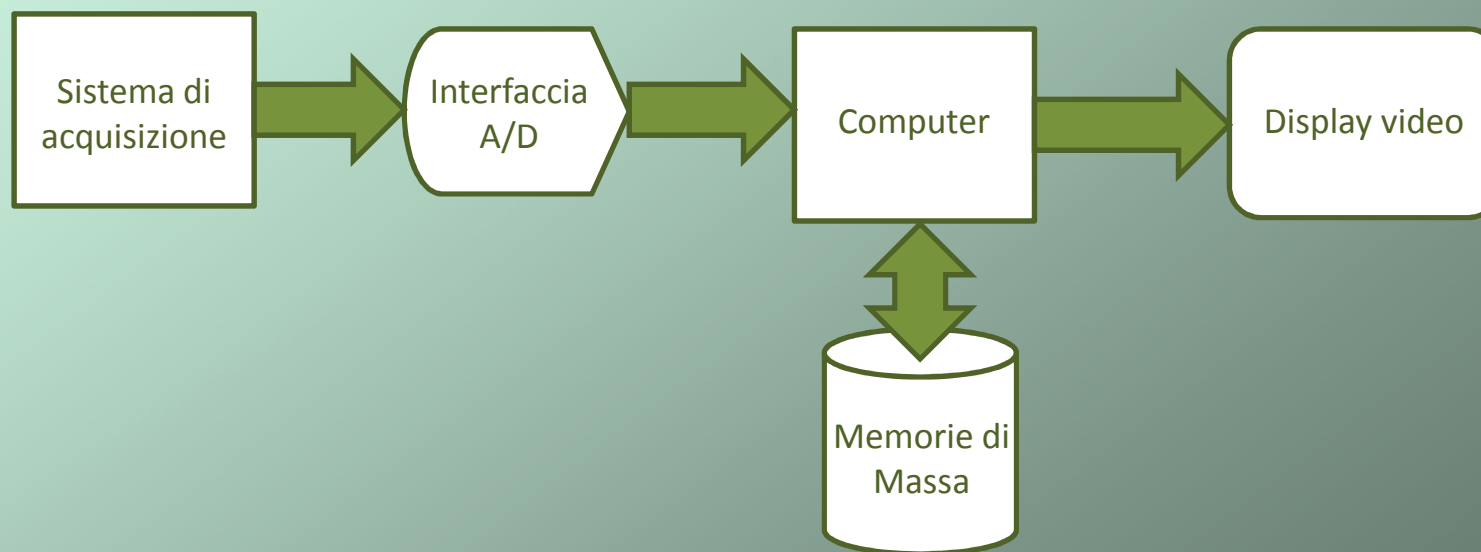


Diagramma a blocchi dei componenti di base di un tipico sistema per l'elaborazione computerizzata delle immagini

Operazioni

- Le operazioni svolte da un sistema di questo tipo possono essere divise in quattro categorie principali:
 - Acquisizione
 - Digitalizzazione
 - Elaborazione (Processing)
 - Visualizzazione (Display)
 - Analisi

Qualità delle immagini biomediche

- La qualità di un'immagine medica dipende dal **grado di chiarezza** con cui una specifica informazione può essere percepita dall'osservatore medico.
- È necessario definire **criteri oggettivi** in grado di quantizzare il concetto di qualità di una immagine.
- A tale scopo si introducono tre parametri:
 - la **nitidezza** (sharpness)
 - il **contrasto** (contrast)
 - il **rumore** (noise)

Nitidezza

- Consiste nella capacità di un sistema di presentare (e dunque permettere di **distinguere**) **i dettagli più fini di un'immagine**.
- Il deterioramento dei dettagli è principalmente dovuta alla risposta impulsiva dell'intero sistema di immagini.
- La nitidezza è valutata dalla **risoluzione spaziale** dell'immagine (potere risolutivo)
 - definita come la capacità di un sistema per immagini di **distinguere** (visualizzare chiaramente) **due piccoli punti ad alto contrasto vicini tra loro**.

Contrasto

- È la possibilità di *distinguere dettagli dell'immagine a bassa differenza di luminosità rispetto al campo di fondo* (background).
- Si tratta della capacità di un sistema per immagini di essere **sensibile a piccole variazioni dell'intensità** di radiazione incidente sugli elementi sensori e di visualizzare tali variazioni.
- Una causa della degradazione del contrasto è la presenza di **rumore**.

Rumore (Noise)

- Il rumore è di natura **statistica** e dipende dal segnale ma, senza una grossa perdita di accuratezza, può essere considerato **additivo e bianco**.
- Infine un parametro generale di qualità di una immagine può essere approssimativamente valutato dall'equazione:

$$\text{ImageQuality} = \frac{(\text{Sharpness})^2 (\text{Contrast})^2}{\text{NoisePowerSpect.}}$$

- La formula precedente può essere usata nella valutazione di varie immagini mediche.

Elaborazione delle immagini

- L'obiettivo che le tecniche di elaborazione si propongono è quello di *manipolare appropriatamente la matrice rappresentativa dell'immagine* in modo che l'immagine ottenuta sia di **qualità superiore**, potendo così fornire ulteriori informazioni al medico.
- Ci sono diverse tecniche di elaborazione dell'immagine il cui impiego dipende dallo specifico problema applicativo e dall'osservatore stesso.

Tecniche di miglioramento

- Ci sono tre principali categorie di tecniche per il miglioramento della qualità dell'immagine:
 - **Image Smoothing**
 - per diminuire il rumore
 - **Image Sharpening**
 - per diminuire lo sfocamento dell'immagine
 - **Manipolazione della scala dei grigi**
 - per aumentare il contrasto
- L'elaborazione di immagini può essere effettuata o nel dominio spaziale o nel **dominio delle frequenze**, poiché le operazioni di convoluzione possono essere effettuate indifferentemente in entrambi i domini.

Image Smoothing

- L' **Image Smoothing** tenta di ottenere una soppressione del rumore, che per varie ragioni risiede nelle immagini
 - errori **introdotti dai sensori, trasmissione, natura statistica delle radiazioni, campionamento, quantizzazione, ecc.**
- Normalmente, il rumore riscontrabile nelle immagini mediche è di carattere statistico ed occupa principalmente la **banda di alta frequenza** delle immagini.
- Le tecniche di image smoothing sono in effetti tecniche di soppressione delle alte frequenze o meglio di **filtraggio passa-basso**.
 - la **soppressione di informazioni utili** dell'immagine ad alta frequenza
- Il risultato è uno **smussamento** (sfocamento) dei contorni ed una degradazione del dettaglio dell'immagine. Bisogna dunque essere cauti nel grado di smoothing da usare.

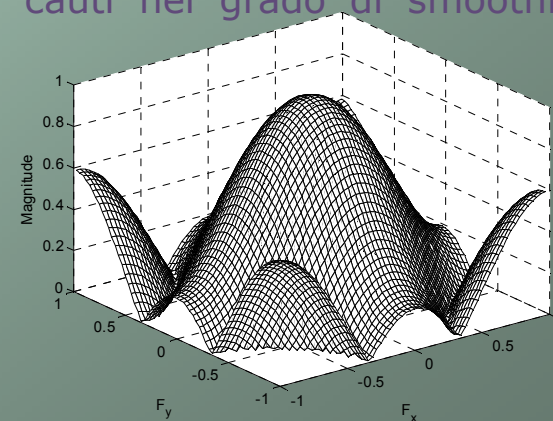
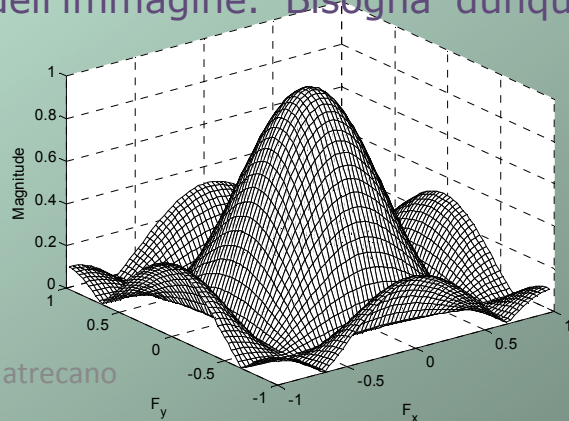
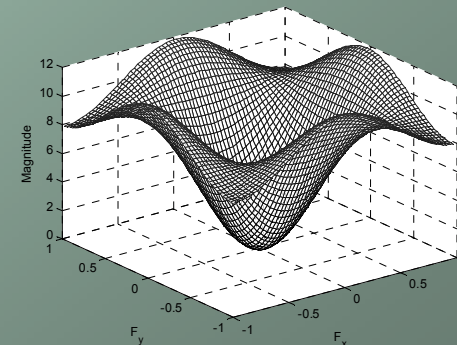
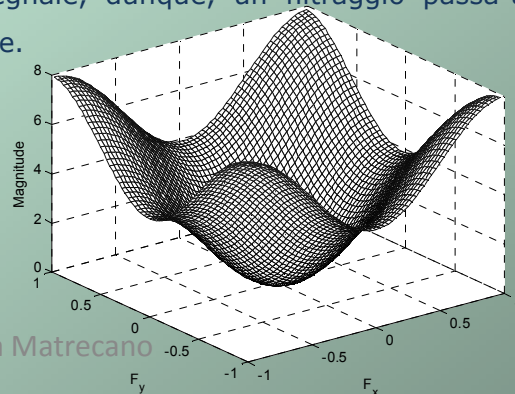


Image sharpening

- Tecniche impiegate per ridurre lo **sfuocamento** (blurring) di una immagine
- Ricordiamo che il risultato di questo sfocamento dell'immagine (image blurring) consiste nella perdita di dettaglio dell'immagine e della chiarezza dei contorni, dunque in una **soppressione delle frequenze medio alte dell'immagine**.
- E' ovvio che tecniche di image sharpening (o deblurring) compiano l'operazione di **esaltare le alte frequenze**, cioè si tratta di un **filtraggio passa-alto**.
- Comunque si deve esercitare cautela nello scegliere l'intensità di filtraggio passa-alto da applicare poiché *il rumore dell'immagine risiede, particolarmente, nelle alte frequenze dello spettro dell'immagine*;
 - in questa zona l'ampiezza dello spettro di potenza del rumore può essere comparabile (se non superiore) a quello del segnale, dunque, un filtraggio passa-alto può avere l'effetto negativo di incrementare notevolmente il rumore.



Tecniche di manipolazione della scala dei grigi

- Tecniche per il **miglioramento della qualità di immagine** che, sebbene siano di semplice e facile implementazione, forniscono eccellenti risultati.
- Esse cercano di affrontare il problema che in molte immagini mediche i **valori della scala dei grigi effettivamente usati sono ben lungi da essere tutti quelli disponibili**; usando poi sul monitor tutto il range possibile si ottiene l'effetto finale di **diminuire il contrasto visibile**.
- Ci sono, fondamentalmente, due tipi di tecniche di manipolazione della scala dei grigi entrambe largamente usate in sistemi computerizzati di elaborazione di immagini mediche:
 - **Tecniche di Finestramento (Windowing Techniques)**
 - **Tecniche di Modificazione dell'Istogramma (Histogram Modification)**

Tecniche di Finestramento (Windowing Techniques)

- Queste tecniche consistono nel **mostrare solo una parte del range dei valori di grigio dell'immagine**. Il termine finestra (Window) si riferisce alla sezione del range dei valori di grigio dell'immagine che viene mostrata volta per volta.

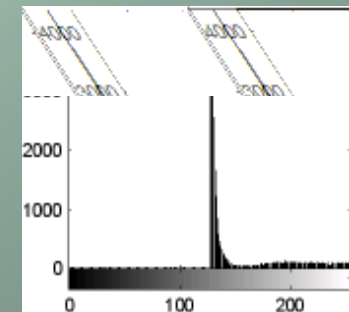
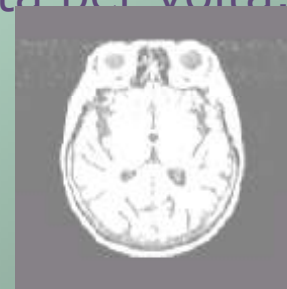
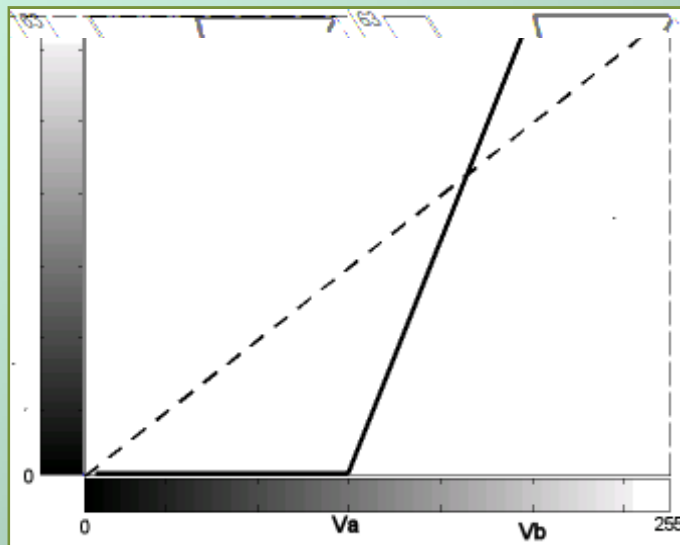


immagine originale e relativo istogramma

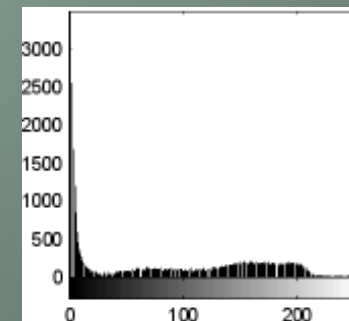


immagine modificata dopo espansione del contrasto e relativo istogramma

Tecniche di Modificazione dell'Istogramma (Histogram Modification) -Espansione del contrasto

- Le tecniche di modificazione dell'istogramma cercano di **umentare il contrasto dell'immagine alterandone l'istogramma.**
- Il nuovo istogramma risultante da tale processo può essere quello di un immagine nota oppure un istogramma con un ugual numero di pixel per livello di grigio.
- Quest'ultima soluzione, molto diffusa in sistemi per le immagini mediche, è denominata **Procedura di Equalizzazione dell'Istogramma.**

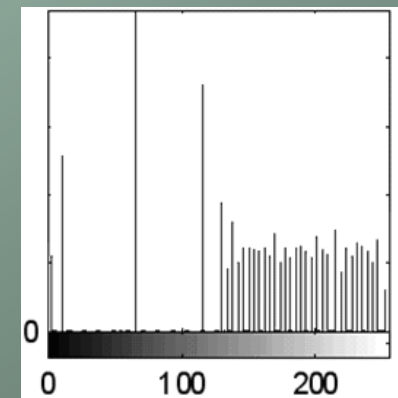
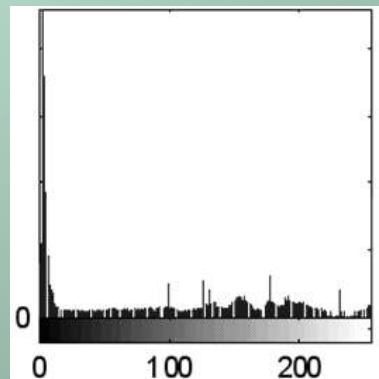


immagine originale e suo istogramma

immagine equalizzata e suo istogramma

Bibliografia

- *La rivoluzione digitale La rivoluzione digitale in radiologia storia ed in radiologia storia ed applicazioni cliniche*
 - Dr. Massimo Favat Dr.ssa Miriam De Dea
- <http://www.gruppomedico.it>
- <http://it.wikipedia.org>
- *Radiologia tradizionale e TAC*
 - Roberta Cenci
- *Possibilità e limiti della diagnostica per immagini nella patologia displastica renale*
 - Primario prof. G. Bonanni