

**TECNICHE
DENSITOMETRICHE:**

**PRINCIPI FISICI
E METODOLOGICI**

WWW.FISIOKINESITERAPIA.BIZ

Cenni storici



- Il primo sistema a disposizione del clinico per la valutazione in vivo della massa ossea è stato l'esame radiografico, con il quale si potevano azzardare solamente delle conclusioni di massima circa la mineralizzazione del segmento osseo in esame, giacché la certezza della sua riduzione poteva aversi solamente quando almeno il 30% della massa ossea fosse andata perduta.

Cenni storici

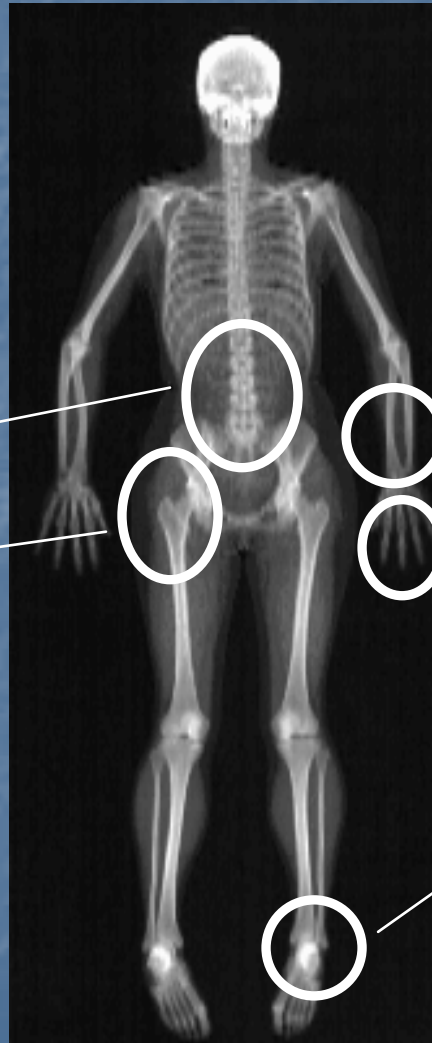
- Le crescenti esigenze di giungere allo sviluppo di metodi più affidabili ed efficaci, hanno condotto alla nascita dapprima di misurazioni ed indici applicati alla tradizionale radiologia, e successivamente a tecnologie diverse e più sofisticate in grado di dare un significato clinico anche a lievi variazioni della densità ossea.
- Le variazioni annue della massa ossea, anche in corso di patologie che implicano un aumento del turn-over osseo, non superano valori del 6-7%, e quindi diventano indispensabili strumenti di rilevazione che garantiscono una elevata precisione.

Siti di studio della densitometria ossea

Siti Centrali

Colonna

Femore



Siti Periferici

Avambraccio

Falangi

Calcagno

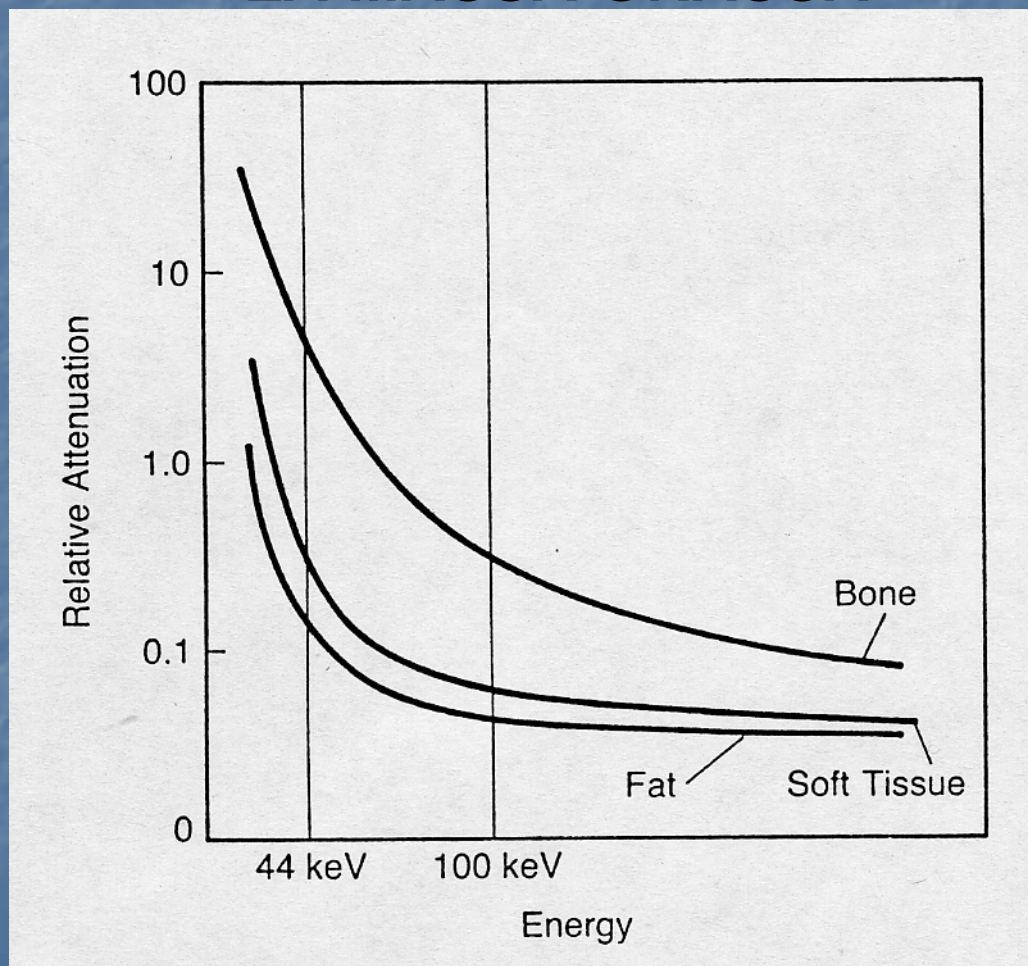
L'evoluzione della Densitometria

- **1963** Single Photon Absometry (SPA)
- **1980** Dual Photon Absometry (DPA)
- **1986** Single Beam Dual X-Ray Absometry (DEXA)
- **1991** Fan Beam Dual X-Ray Absometry (DEXA FAN BEAM)

Assorbimetria fotonica

- Raggi Gamma e Raggi X sono radiazioni elettromagnetiche che seguono le leggi della fisica dei processi delle vibrazioni elettromagnetiche.
- La determinazione della massa ossea con la densitometria ossea SPA, DPA e DEXA si basa sull'assorbimento fotonico dove i fotoni emessi vengono assorbiti in modo proporzionale alla densità del materiale indagato.
- L'intensità fotonica sarà quindi tanto minore quanto maggiore è lo spessore del tessuto esaminato.

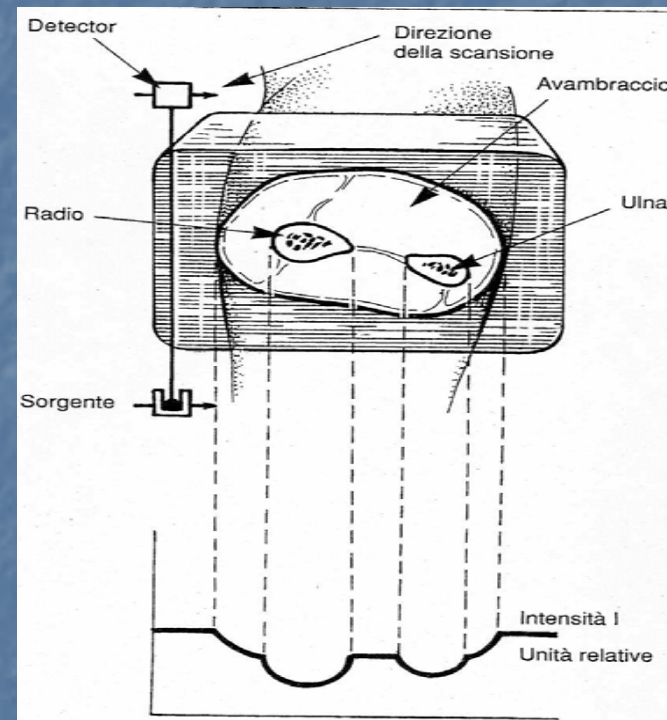
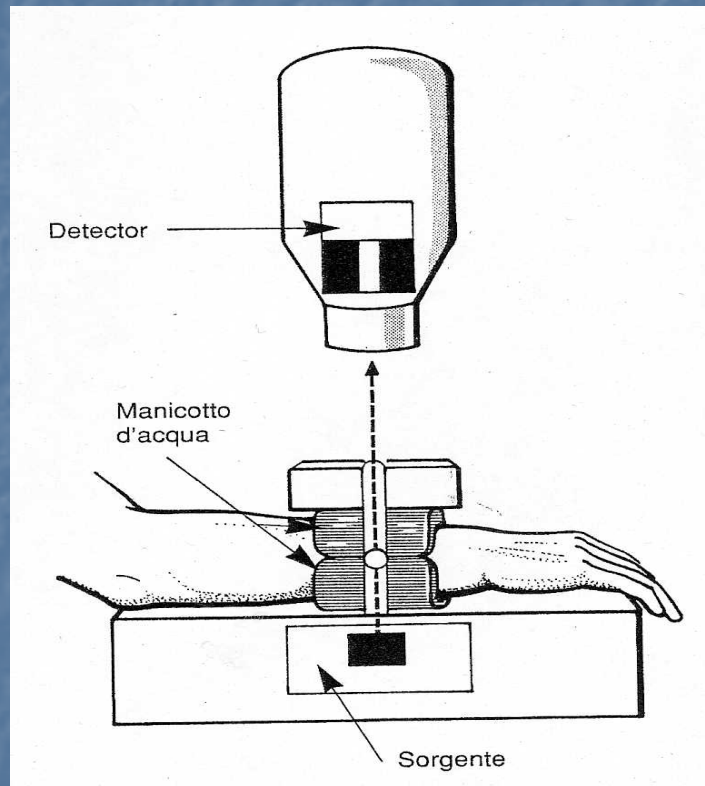
VARIAZIONE DEL COEFFICIENTE LINEARE DI ATTENUAZIONE PER L'OSSO, LA MASSA MAGRA E LA MASSA GRASSA



LA MINERALOMETRIA A SINGOLO RAGGIO FOTONICO (SPA)

- Si basa sull'attenuazione di un fascio di fotoni emesso da una sorgente radioattiva (es: I 125 – 30 KeV) quando incontra il tessuto osseo. La misurazione della massa ossea richiede che l'osso venga immerso in acqua.
- Una volta determinata l'attenuazione dovuta alla presenza dello strato di tessuti molli (acqua=tessuti molli), il contenuto minerale del segmento scheletrico viene ricavato con il confronto tra le due differenti attenuazioni (acqua e osso) tramite algoritmi convergenti che esprimono la misura in g/cm.
- Dividendo il valore assoluto per il diametro dell'osso si ottiene g/cm²

LA MINERALOMETRIA A SINGOLO RAGGIO FOTONICO (SPA)



LA MINERALOMETRIA A DOPPIO RAGGIO FOTONICO (DPA)

- Si basa su una fonte di emissione radioattiva a due diverse energie, in grado di stabilire, in ogni punto della scansione, la quota di attenuazione dell'emissione dovuta ai tessuti molli e quella dovuta al tessuto osseo.
- In questo modo diventa affidabile la densità ossea indipendentemente dalla quantità e qualità dei tessuti molli circostanti.
- La fonte dell'emissione radioattiva a due diverse energie, più largamente adottata è il ^{153}GD (44 e 100 KeV) in alternativa ^{125}I e ^{241}Am .

SVANTAGGI SPA-DPA

- Scarsa riproducibilità per il decadimento del radioisotopo
 - Bassa risoluzione dell'immagine
 - Tempi lunghi di scansione (7'-30')
 - Elevati costi di gestione (costo sorgente, smaltimento)
 - Misure radioprotezionistiche restrittive

MINERALOMETRIA OSSEA A RAGGI X (DEXA)

- Il costo delle sorgenti radioattive, l'impossibilità di regolarne l'emissione energetica in relazione allo spessore dei tessuti ed i problemi connessi al decadimento ed alla purezza dei radioisotopi, hanno spinto allo sviluppo ed alla messa a punto di tecniche densitometriche che impiegano una sorgente a raggi X.
- Il principio è analogo a quello della DPA ma in questo caso si ottengono valori maggiori di energia spettrale a bassa ed elevata frequenza, indipendenti dal decadimento della sorgente stessa.

TECNICA DI EMISSIONE RAGGI X

I due diversi livelli di energia per discriminare il tessuto molle da quello osseo, si possono ottenere con due tecniche differenti:

- Energia Pulsata
- Energia Filtrata

TECNICHE DI EMISSIONE RAGGI X

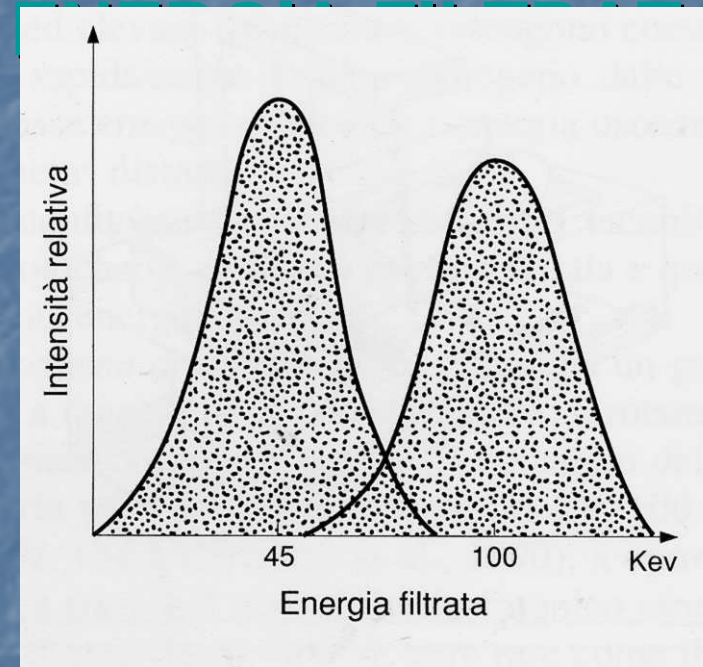
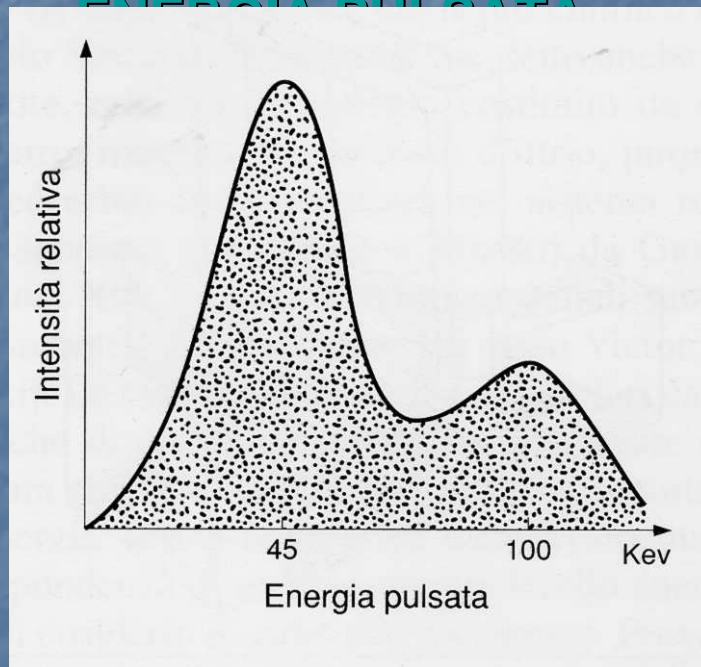
ENERGIA PULSATA

Il tubo radiologico (ad anodo fisso) di questa generazione di strumenti viene alimentato con due voltaggi differenti che si alternano per produrre i due livelli di alta e bassa energia. Tensione tipica: 100-140 kVp.

ENERGIA FILTRATA

Il tubo radiologico (ad anodo fisso o rotante) viene in questo caso alimentato con un solo voltaggio in cui si interpone sul fascio prodotto un filtro di terra rara per produrre i due livelli di diversa energia. Tensione tipica: 84 kVp.

TECNICHE DI EMISSIONE RAGGI X



TECNICHE DI EMISSIONE RAGGI X

SVANTAGGI ENERGIA PULSATA

BEAM HARDENING: i fotoni a bassa energia si perdono nel conteggio per il differenziale più ampio tra alta e bassa energia.

SOLUZIONE: si interpone un filtro di alluminio e ottone.

TECNICHE DI EMISSIONE RAGGI X

SVANTAGGI ENERGIA FILTRATA

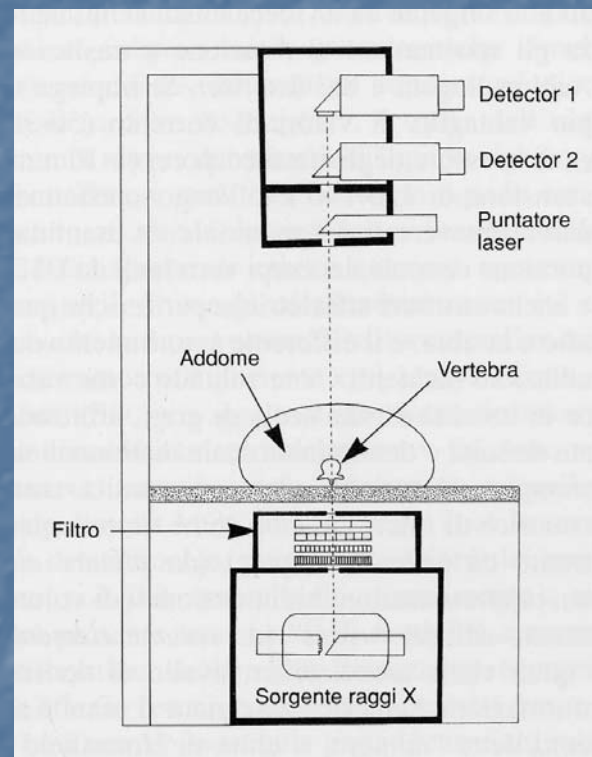
PILE UP: i fotoni giungono al bersaglio con frequenza tale che la reazione di eccitazione e decadimento non è completata.

SOLUZIONE: si assegna di default una frazione di conteggi a bassa energia al canale di alta energia per minimizzare l'errore.

CROSS-OVER: i fotoni ad alta energia vengono conteggiati come appartenenti alla bassa energia.

SOLUZIONE: si utilizzano due detector distinti.

SCHEMA DEXA SINGLE BEAM ENERGIA FILTRATA



Tecniche di lettura raggi X

Single Beam

Sistema di lettura a singolo (o doppio) detector con emissione raggi X a “pennello” tramite un collimatore circolare (pinhole) sul complesso radiogeno.

Fan Beam

Sistema di lettura multidetector con emissione raggi X a “*ventaglio*” tramite un collimatore a fessura sul complesso radiogeno.

Tecniche di lettura raggi X

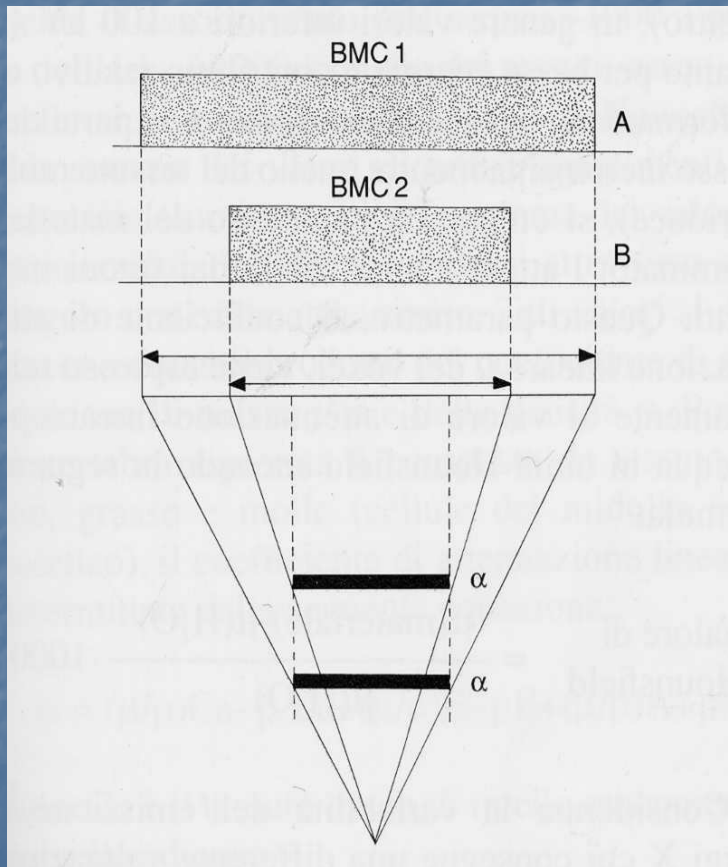
Vantaggi Single-Beam

- no distorsione geometrica
- costo ridotto
- minor dose

Vantaggi Fan Beam

- Velocità esecuzione esame
- Risoluzione di immagine
- Valutazioni morfometriche

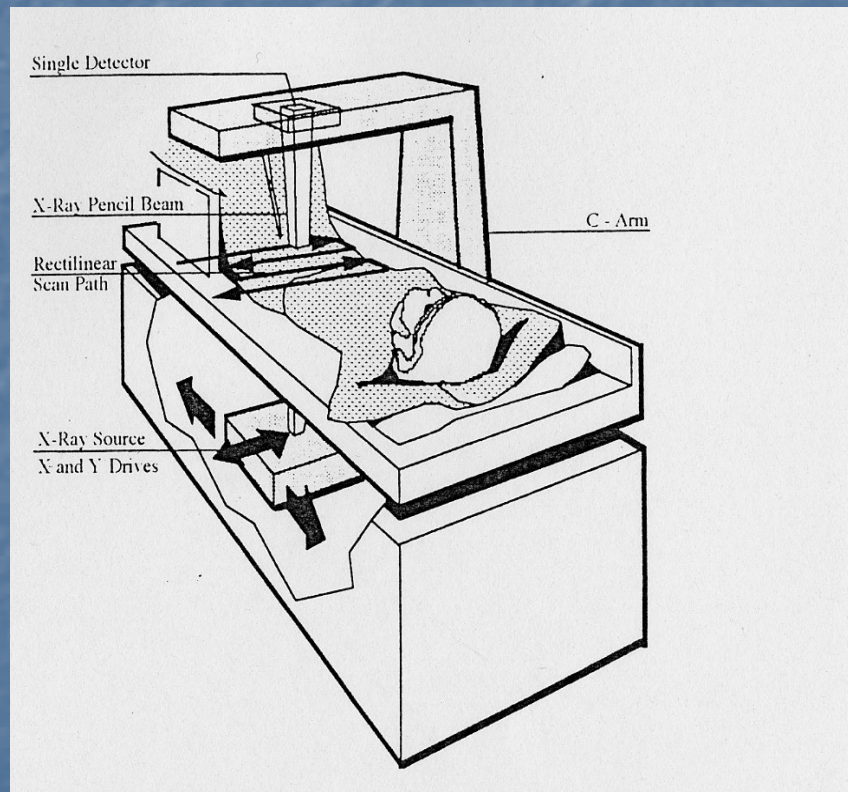
Distorsione geometrica del Fan Beam



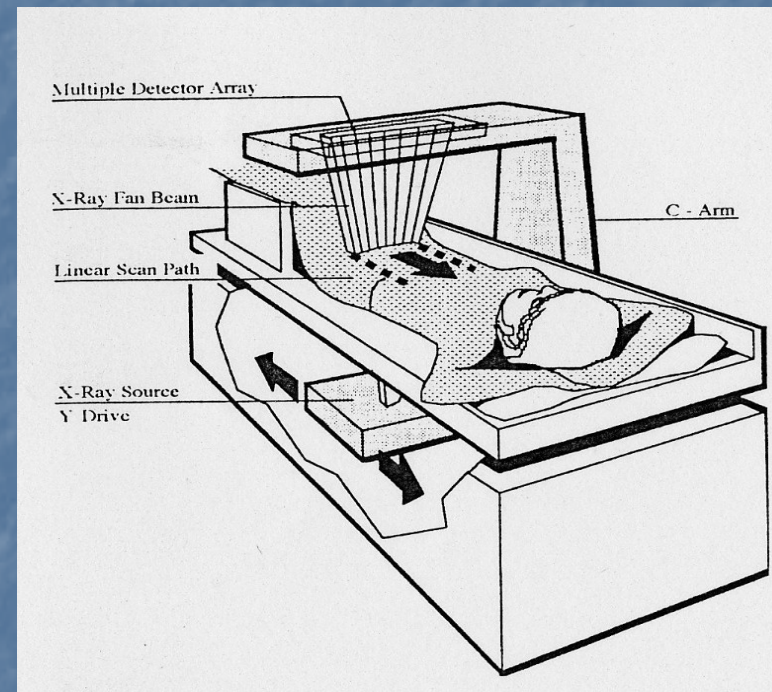
Ad una data lunghezza della barra alfa, corrisponde sul piano di proiezione una lunghezza maggiore dell'immagine che sarà tanto più grande quanto minore è la distanza dalla sorgente.

Tecniche di lettura raggi X

SINGLE BEAM



FAN BEAM



MODELLI DEXA SINGLE-FAN BEAM

SINGLE BEAM

- HOLOGIC QDR 4000 (pulsata)
- LUNAR DPX (filtrata)
- NORLAND XR-46 (filtrata)
- ACN UNIGAMMA PLUS (filtrata)
- DMS CHRONOS (filtrata)



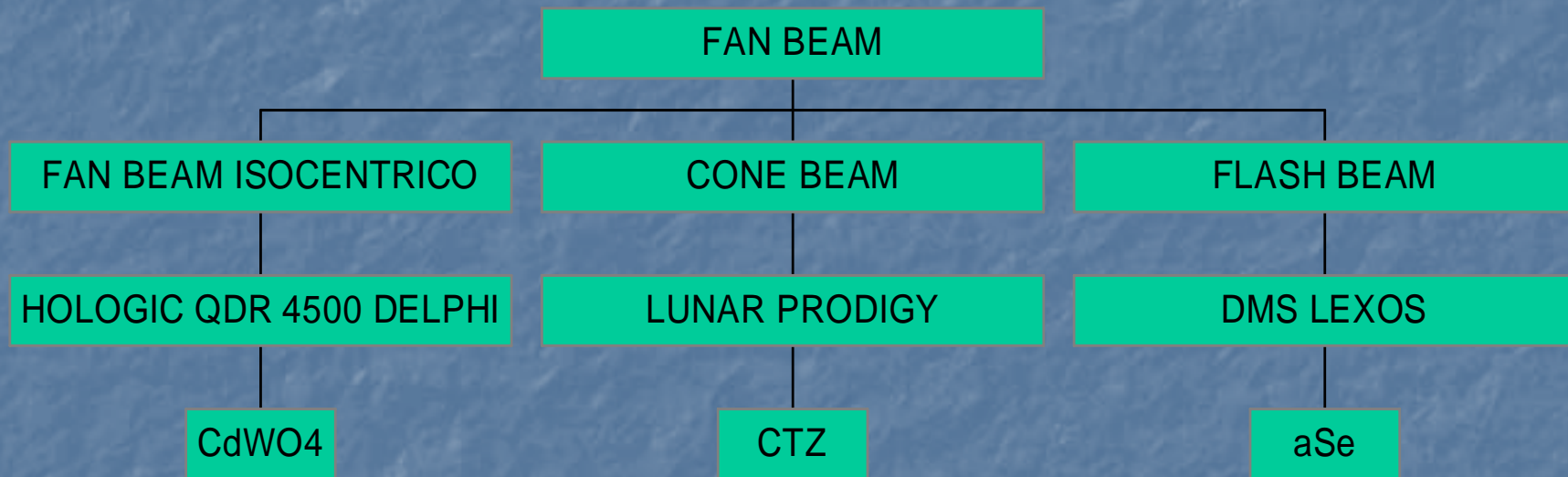
FAN BEAM

- HOLOGIC QDR 4500 (pulsata)
- HOLOGIC QDR DELPHI (pulsata)

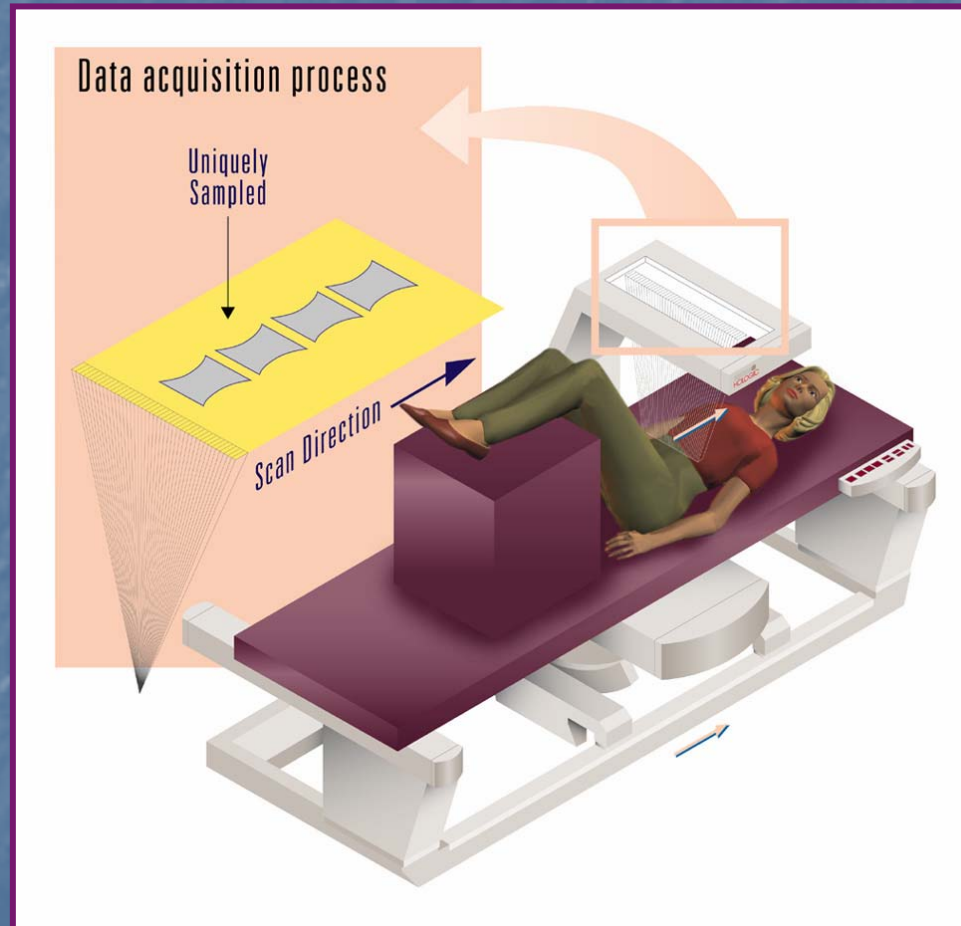


- DIGY
- DMS LEXXOS (pulsata)

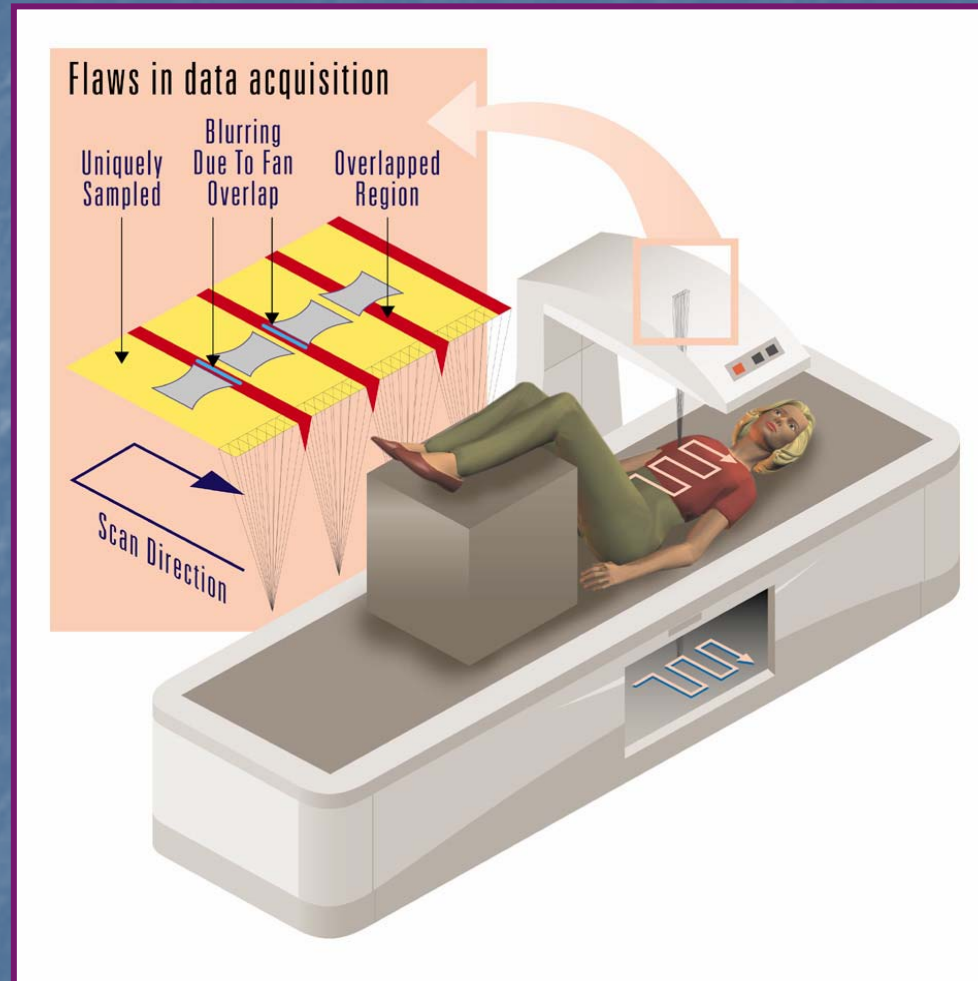
TECNOLOGIA FAN BEAM



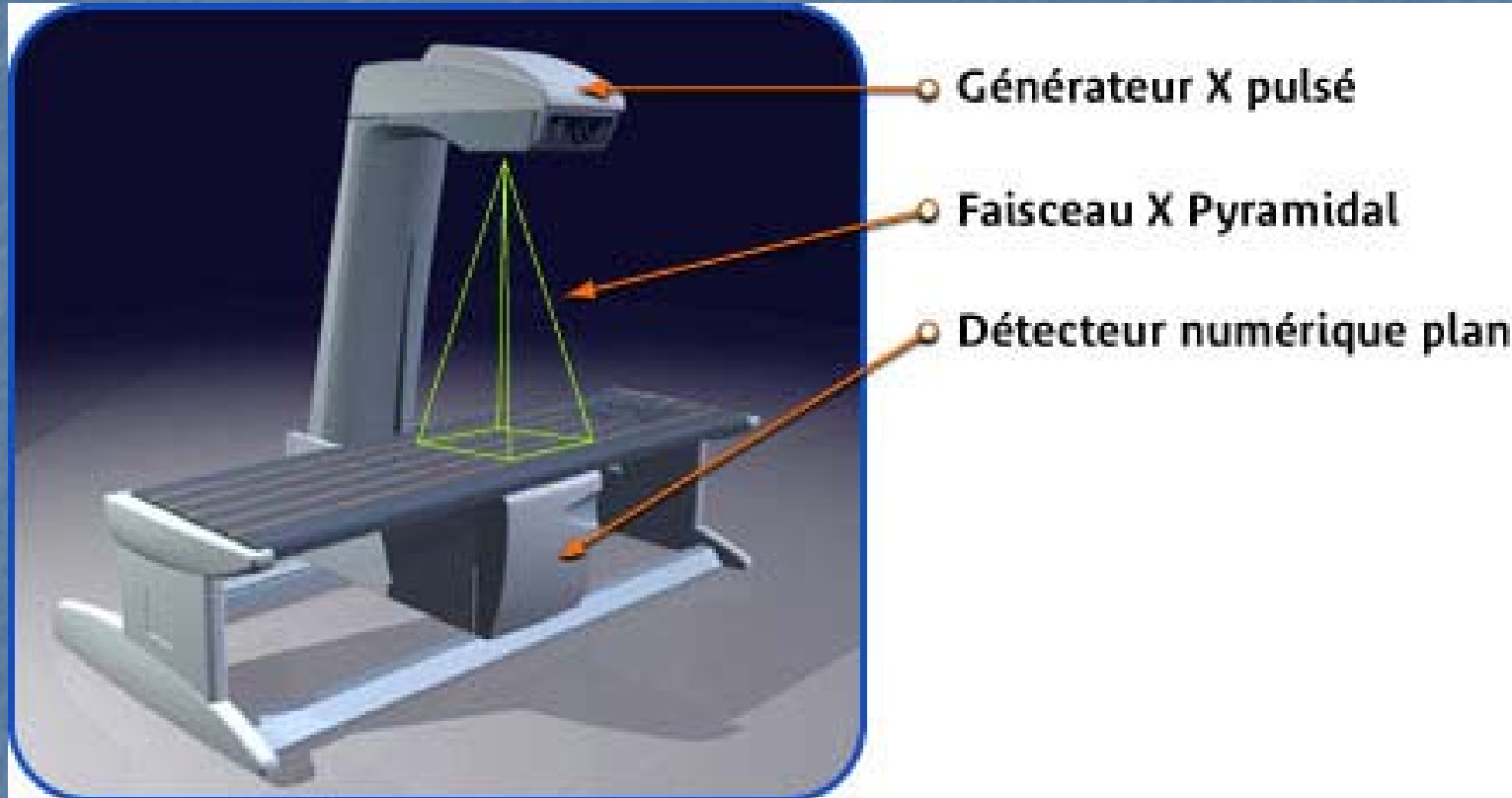
HOLOGIC QDR 4500 – DELPHI ISOCENTRICO



LUNAR PRODIGY CONE BEAM



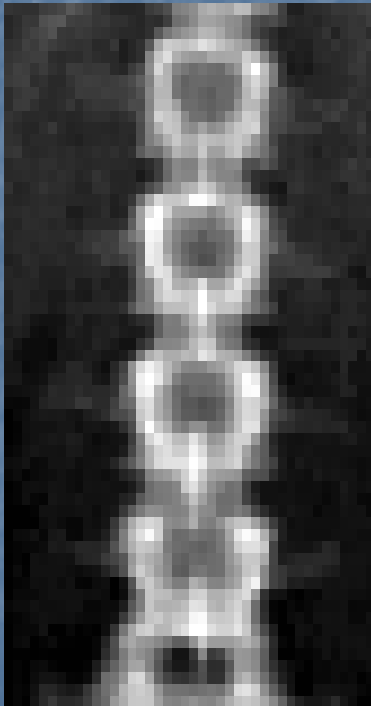
DMS LEXOS FLASH BEAM



L'evoluzione dell'immagine densitometrica

DPA 1984

1200s



QDR 1000 1986

360s



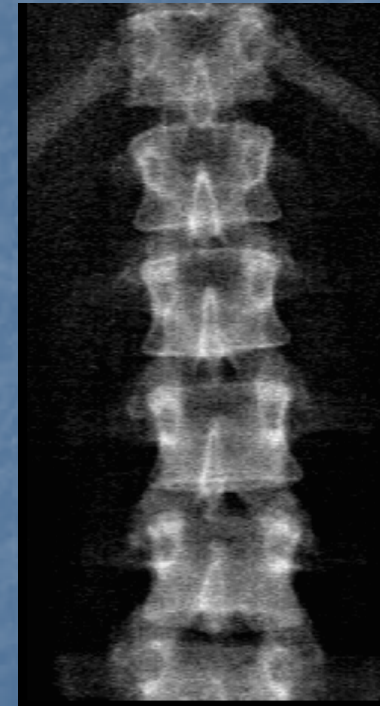
QDR 2000-1991

90s



QDR 4500 1995

30s



NON SOLO DENSITOMETRIA OSSEA

COMPOSIZIONE CORPOREA

Valutazione della massa grassa, magra e ossea settoriale.

Campi di applicazione:

Medicina Sportiva, Dietologia,
Riabilitazione Funzionale,
Fisiatria.



CORRELAZIONE TRA PESATA IDROSTATICA E COMPOSIZIONE CORPOREA

HYDRODENTOMETRY	FAN BEAM DEXA	DIFF	R ²	SEE
24.2 Kg	23.5	-0.7 Kg \pm 1.7	0.96	1.5

CORRELAZIONE TRA COMPOSIZIONE CORPOREA CON DEXA E MRI SUL GRASSO ADDOMINALE

	DONNE	DONNE	UOMINI	UOMINI
Variabile	r	P	r	P
Grasso addominale (DEXA)	0.90	<0.001	0.91	<0.001
Circonferenza addominale	0.87	<0.001	0.91	<0.001
BMI	0.860	<0.001	0.75	<0.001
Rapporto femore addome (WHR)	0.36	< 0.2	0.92	<0.001

NON SOLO DENSITOMETRIA OSSEA

MORFOMETRIA

Anticipa lo stato dell'arte nel rischio di frattura. Acquisizione dell'immagine sull'intera colonna (T4-L4) in meno di 10 secondi e con una dose equivalente all'1% della dose ($<10\mu\text{Sv}$) utilizzata nelle normali lastre radiografiche. (risoluzione spaziale: 0.25×0.9 mm)



NON SOLO DENSITOMETRIA OSSEA

Hologic View Print Utility

H, N
Study FxOW on 2000/05/01 15:34 A0501000P

Single
Single with Data
Compare

Markers

Deformity ID


W 781

L 1998

Revert
Invert
Flip

Print Report
Print Image
Dx Report
Exit

For Help, Press F1



Normal (Grade 0)

Wedge Deformity Biconcave Deformity Crush Deformity

Mild (Grade 1)

Moderate (Grade 2)

Severe (Grade 3)

Deformity Identification

Vertebral Label	Deformity	Grade
L2	Wedge	Moderate

Series 1/3 - Image 1/1
Fit To Window

Select Study

For Vertebral Deformity Evaluation Only

Bedford Imaging Center

35 Crosby Drive
Bedford, MA 01730

Phone: 781-999-7300

E-mail: sales@hologic.com

Fax: 781-280-0614

Name: Doe, Jane
Patient ID: Norm002
DOB: September 02, 1933

Sex: Female
Ethnicity: White
Menopause Age: 53

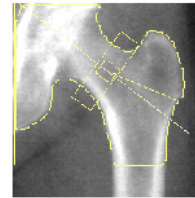
Height: 66.5 in
Weight: 165.0 lb
Age: 66



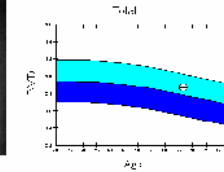
For Vertebral Deformity Evaluation Only



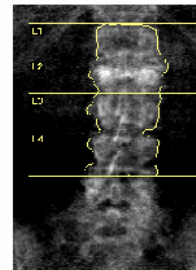
For Vertebral Deformity Evaluation Only



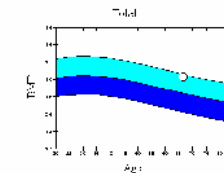
Scan Date: May 05, 2000
Scan ID: A0501000M



Reference: NHANES White Female



Scan Date: May 05, 2000
Scan ID: A0501000N



Reference: Hologic White Female

Scan Date: May 05, 2000
Scan ID: A0501000K

Scan Date: May 05, 2000
Scan ID: A0501000L

Results:

	BMD (g/cm ²)	T- Score	PR (%)	Z- Score	AM (%)
Hip (Neck)	0.773	-0.7	91	0.6	115
Hip (Total)	0.870	-0.6	90	0.5	108
Spine (Total)	1.027	-0.2	98	1.7	122

Total BMD CV 1.0%

Summary:

	WHO Classification
Hip BMD (Neck)	Normal
Hip BMD (Total)	Normal
Spine BMD (Total)	Normal

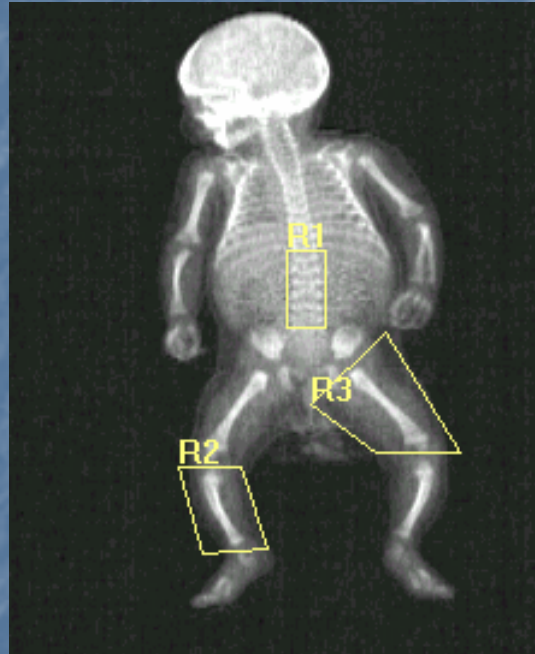
Vertebral Evaluation: Severe wedge deformity at L2

A spine fracture indicates 5X risk for subsequent spine fracture and 2X risk for subsequent hip fracture.

World Health Organization criteria for BMD interpretation classify patients as Normal (T-score above -1.0), Osteopenic (T-score between -1.0 and -2.5) and Osteoporotic (T-score lower than -2.5)

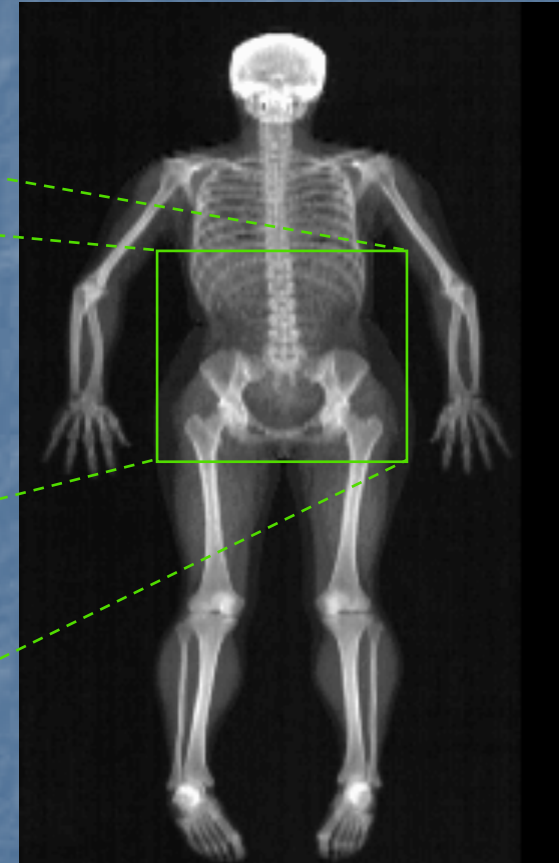


NON SOLO DENSITOMETRIA OSSEA



NON SOLO DENSITOMETRIA OSSEA

METASTASI OSSEE



DENSITOMETRIA OSSEA A RAGGI X

VANTAGGI

- Gold Standard
- Accuratezza e Precisione
- Standardizzazione del dato
- Precisione long term
- Multisito e multifunzionale
- Velocità di esecuzione
- Facile utilizzo
- Poco invasivo

SVANTAGGI

- Visualizzazione su un solo piano
- Solo misure quantitative
- Costo medio
- Ingombro

CONNESSIONE DI RETE



Printer

PC

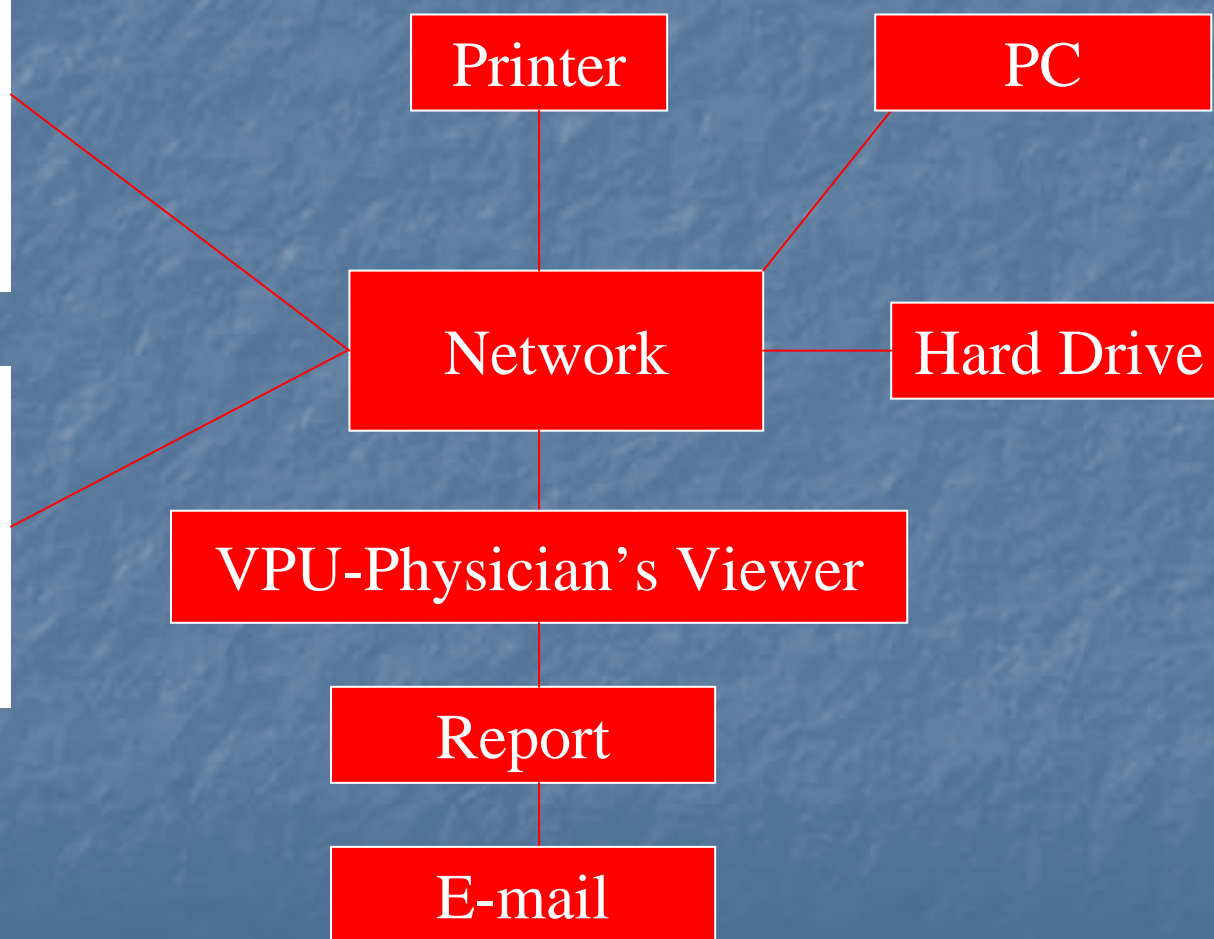
Network

Hard Drive

VPU-Physician's Viewer

Report

E-mail



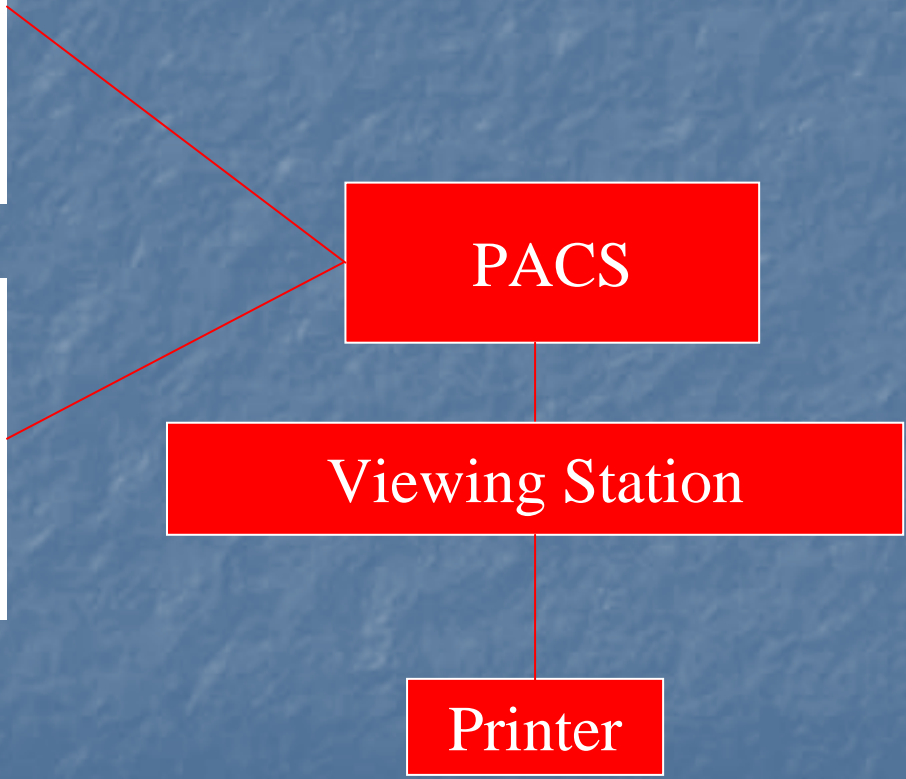
CONNESSIONE PACS



PACS

Viewing Station

Printer



TECNICHE ALTERNATIVE DENSITOMETRICHE

- **ULTRASUONI**
- **QUANTITATIVE COMPUTED TOMOGRAPHY**
- **RISONANZA MAGNETICA**

ULTRASUONI

Gli ultrasuoni sono regolati dai principi fisici delle vibrazioni elastiche, in quanto sono di natura meccanica e si propagano attraverso un mezzo materiale. I Parametri che li caratterizzano sono:

- **Frequenza:** numero di oscillazioni compiute nell'unità di tempo (>20000Hz=ultrasuoni)
- **Velocità di propagazione:** dipende dalle proprietà elastiche del mezzo attraversato (osso 3360m/s-grasso 1440m/s-molle 1485m/s)
- **Lunghezza d'onda:** distanza successiva alla medesima fase oscillativa.
- **Intensità:** potenza media per unità di area; è proporzionale al quadrato della frequenza
- **Impedenza Acustica:** è una misura della resistenza, ed è definita dal prodotto della densità del mezzo in cui l'onda si diffonde per la velocità di propagazione.

ULTRASUONI

PARAMETRI DI MISURA COMUNI

- **BUA** (Broadband Ultrasound Attenuation): misura la perdita di energia degli ultrasuoni (dB/MHz). L'attenuazione può avvenire per assorbimento o dispersione.
- **SOS** (Speed Of Sound): misura la velocità di attraversamento del tessuto osseo, ed è proporzionale alla resistenza elastica del mezzo attraversato dipendendo dal contenuto minerale e quello proteico.
- **STIFFNESS (QUI)**: si ottiene attraverso la combinazione della SOS e del BUA correlati all'età del paziente .

SISTEMI AD ULTRASUONI

MODELLO	SITO	TRASMISSIONE	RISULTATI
IGEA DBM-SONIC	FALANGI	GEL	AD-SOS, UBPS
GE ACHILLES EXPRESS	CALCAGNO	SONDE A BAGNO D'ACQUA	BUA, SOS, STIFFNESS
HOLOGIC SAHARA	CALCAGNO	GEL A BASE D'OLIO	BUA, SOS, QUI, BMD
MCCUE CUBA	CACAGNO	GEL	BUA, SOS
QUIDEL QUS -2	CALCAGNO	GEL	BUA, SOS
OMNISENSE SUNLIGHT	MULTI SITO	GEL , SEMIRIFLESSIONE	BUA, SOS
DMS UBIS 5000	CALCAGNO	A BAGNO D'ACQUA	BUA, SOS, IMMAGNE
OSTEOMETER DTU	CALCAGNO	A BAGNO D'ACQUA	BUA, SOS, IMMAGNE

DENSITOMETRIA OSSEA AD ULTRASUONI

VANTAGGI

- Metodo non invasivo
- Velocità di esecuzione
- Costo contenuto
- Trasportabile
- Qualità dell'osso
- Facile Utilizzo
- Ingombro limitato

SVANTAGGI

- Diversità di apparecchiature
- Carenza dati di normalità
- Difficoltà di standardizzazione
- Precisione long-term
- Accuratezza
- Siti analizzabili
- Solo misure qualitative

QUANTITATIVE COMPUTED TOMOGRAPHY (QCT)

- L'utilità di questo metodo sta nella sua capacità di fornire una immagine quantitativa e, attraverso di essa, una misurazione dell'osso trabecolare e corticale sia integrale che periferico.
- Vengono effettuate scansioni trasversali dei corpi vertebrali (D12-L3) o del radio con due differenti spettri energetici (120-140 kVp – 50-300 mA), e il differente assorbimento delle radiazioni incidenti viene valutato come variazione di una tonalità di scala di grigi arbitrariamente definita (scala di Hounsfield).
- Viene utilizzato come parametro di riferimento dell'assorbimento un fantoccio di idrossiapatite

QUANTITATIVE COMPUTED TOMOGRAPHY (QCT)

VANTAGGI

- Capacità di misurare la struttura ossea .
- Vera ricostruzione 3D per Informazioni morfologiche
- Multifunzionale

SVANTAGGI

- Errori di precisione (numerosi variabili)
- Elevata dose incidente (200-3000 μSv)
- Tempi di scansione lunghi
- Elevati costi di gestione
- Tecnica complessa

RISONANZA MAGNETICA

- L'applicazione della risonanza magnetica, tuttora sperimentale, nello studio della densitometria ossea può fornire informazioni quantitative e qualitative dell'osso.
- Il dato si ottiene applicando ad un campo magnetico statico di elevata intensità, un impulso RF a 90° rispetto all'asse di magnetizzazione, abbinato ad un gradiente di campo per evidenziare tessuti interessati.

RISONANZA MAGNETICA

VANTAGGI

- Dati qualitativi e quantitativi
- Vera ricostruzione 3D per informazioni morfologiche
- Multifunzionale
- Non invasivo

SVANTAGGI

- Bassa casistica
- Tempi di scansione lunghi
- Elevati costi di gestione
- Tecnica complessa