

APPLICAZIONI DI RADIOLOGIA MEDICA

ED

INTERVENTISTICA

G. GUIDO, M. FLORIO

**La Radioprotezione nel'Ambiente, nell'Industria,
nella Ricerca e nella Sanità**

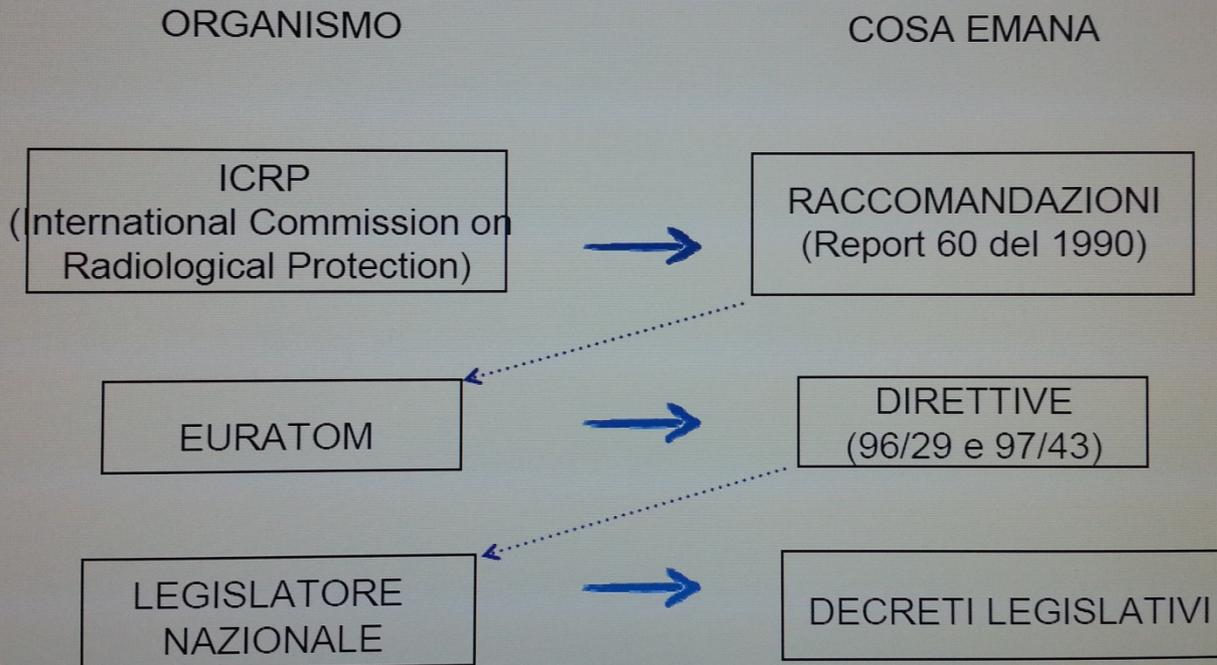
RENDE 16 OTTOBRE 2017

La Radioprotezione (o protezione sanitaria contro le radiazioni ionizzanti) è una disciplina che si occupa della Protezione delle persone , rispetto ai Rischi potenzialmente derivanti dall'esposizione a sorgenti di radiazioni ionizzanti

Ridurre i Rischi

Aumentare i Benefici

Radioprotezione: chi scrive le normative?



Commissione internazionale per la protezione radiologica (ICRP), in particolare nella pubblicazione n. 103 dell'ICRP, distingue tra situazioni di esposizione esistenti, pianificate e di emergenza

l'esposizione professionale, della popolazione e le esposizioni mediche

**La Comunità europea dell'energia atomica (CEE
o Euratom) è un' organizzazione internazionale
istituita, contemporaneamente alla CEE, con i
trattati di Roma del 25 marzo 1957 allo scopo di
coordinare i programmi di ricerca degli stati
membri relativi all'energia nucleare ed assicurare
un uso pacifico della stessa.**

La protezione dei lavoratori e della popolazione contro i pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti risale all'articolo 2 lettera b), del trattato Euratom che prevedeva norme di sicurezza uniformi mentre l'articolo 30 del trattato EURATOM definisce "norme fondamentali" relative alla protezione sanitaria nel 1959

DIRETTIVA 2013/59/EURATOM DEL CONSIGLIO

del 5 dicembre 2013

che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative
alla protezione dei lavoratori, del pubblico e dell'ambiente
alle radiazioni ionizzanti in materia di esposizione
entro il 6 febbraio 2018.
89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 90/269/Euratom,
97/43/Euratom e 2003/122/Euratom

Radioprotezione: normativa italiana

D.Lgs. 230/1995 - Attuazione delle direttive 89/618, 90/641 e 92/3 EURATOM in materia di radiazioni ionizzanti

D.Lgs. 241/2000 - Attuazione della direttiva 96/29 EURATOM in materia di protezione della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti

D.Lgs. 187/2000 - Attuazione della direttiva 97/43 EURATOM in materia di protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connessi ad esposizioni mediche



D. Lgs. 187/00

La norma si basa su due principi:

□ GIUSTIFICAZIONE

□ OTTIMIZZAZIONE

□ L.D.R.

Misure finalizzate a ridurre al minimo il rischio conseguente all'esposizione a radiazioni ionizzanti (rischio zero).

Principio di giustificazione:

l'esposizione deve essere giustificata dalle necessità

Principio di ottimizzazione:

Il concetto attraverso il quale agisce la radioprotezione è quello per cui: la dose deve essere mantenuta tanto più bassa quanto è concretamente fattibile

Principio di limitazione:

debbono essere rispettati i limiti di dose individuale (superabile in casi eccezionali e normati)

Strumenti operativi:

sorveglianza fisica (esperto qualificato)

sorveglianza sanitaria (medico autorizzato o medico

competente) vigilanza (ANPA, Ispettorato del Lavoro, ASL)

PRINCIPIO DI GIUSTIFICAZIONE

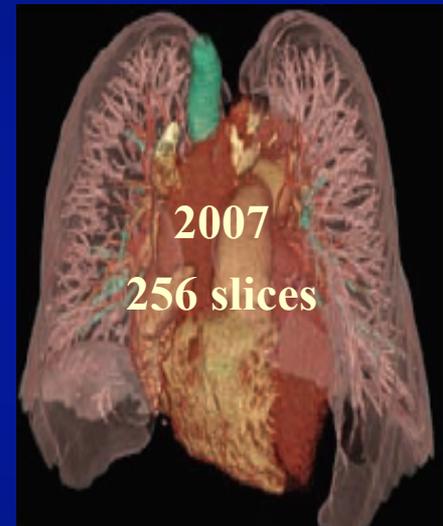
Le esposizioni mediche di cui all'articolo 1, comma 2, devono mostrare di essere sufficientemente efficaci mediante la valutazione dei potenziali vantaggi diagnostici e terapeutici complessivi da esse prodotti, inclusi i benefici diretti per la salute della persona e della collettività, rispetto al danno alla persona che l'esposizione potrebbe causare, tenendo conto dell'efficacia, dei vantaggi e dei rischi di tecniche alternative disponibili, che si propongono lo stesso obiettivo, ma che non comportano un'esposizione, ovvero comportano una minore esposizione alle radiazioni ionizzanti.

PRINCIPIO DI GIUSTIFICAZIONE

In particolare:

- a) tutti i nuovi tipi di pratiche che comportano esposizioni mediche devono essere giustificate preliminarmente prima di essere generalmente adottate;**
- b) i tipi di pratiche esistenti che comportano esposizioni mediche possono essere riveduti ogni qualvolta vengano acquisite prove nuove e rilevanti circa la loro efficacia o le loro conseguenze;**
- c) il processo di giustificazione preliminare e di revisione delle pratiche deve svolgersi nell'ambito dell'attività professionale specialistica tenendo conto dei risultati della ricerca scientifica. (art.3, comma 2)**

Tutte le esposizioni mediche individuali devono essere giustificate preliminarmente, tenendo conto degli obiettivi specifici dell'esposizione e delle caratteristiche della persona interessata(art.3, comma



Nuove applicazioni



- Embolia Polmonare
- UroTC
- Colonscopia virtuale
- CardioTC
- FluoroTC
- AngioTC vasi periferici
- Ecc...

Effetti Delle Radiazioni Sugli Organi

D.Caramella F.Paolicchi L.Faggioni La dose in diagnostica per immagini Springer ed 2015 ISBN 9788847026483

- 1906: Legge sulla radiosensibilità degli organismi viventi di Jean Bergonie e Louis Tribondeau
- Si può riassumere in due concetti:
 - La radiosensibilità di una cellula è tanto più alta quanto più essa si trova in uno stato di proliferazione o in fase di crescita.
 - La radiosensibilità di una cellula è correlata positivamente con la sua attività metabolica.

DANNO BIOLOGICO DOVUTO A RADIAZIONI IONIZZANTI:

•**DANNO SOMATICO** che può colpire l'individuo sottoposto ad irradiazione

•**DANNO GENETICO** che, interessando il patrimonio cromosomico dell'individuo, si manifesta nella sua progenie.

I danni somatici possono ancora suddividersi in:

- effetti graduati**

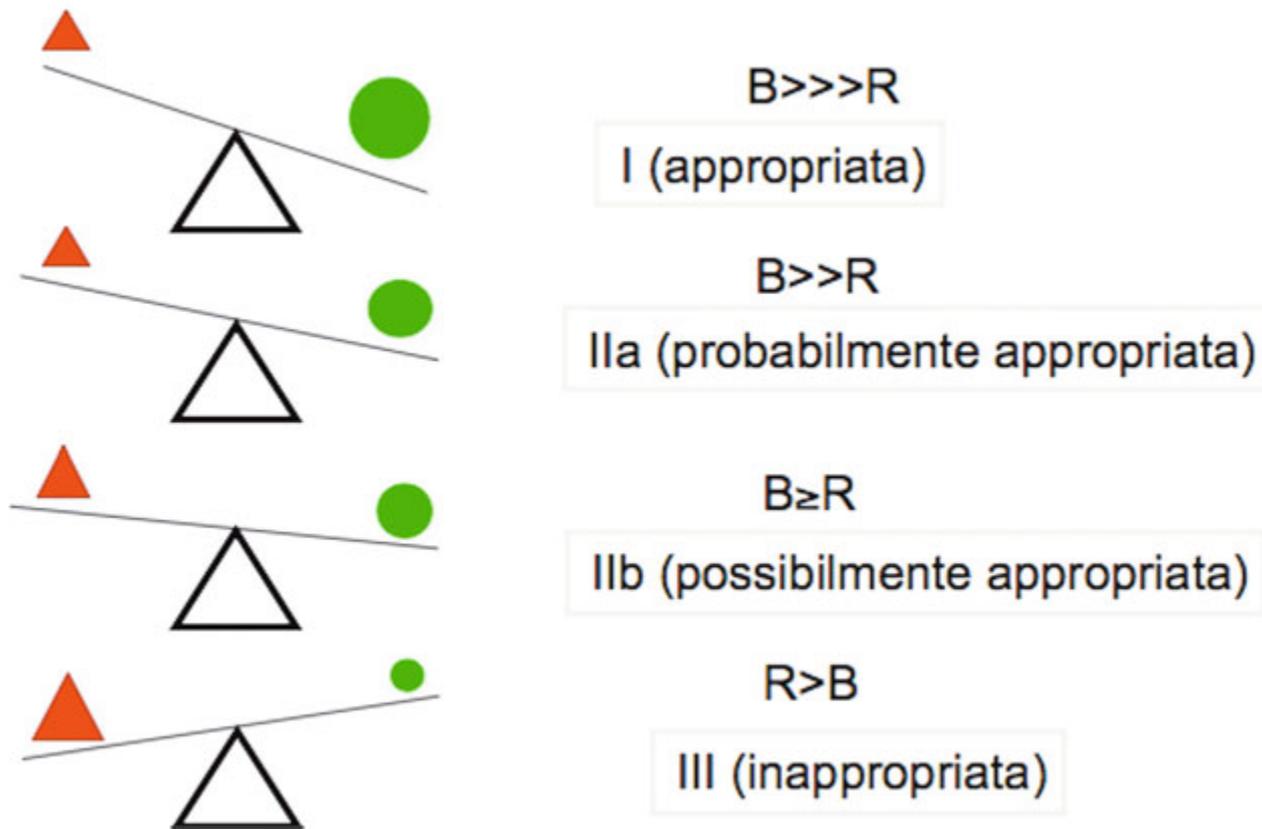
- effetti stocastici**

Gli effetti graduati (es. eritema cutaneo, leucopenia, opacità del cristallino, ...) si manifestano in tempi brevi ed insorgono quando viene superato un livello (soglia) di esposizione alle radiazioni.

Gli effetti stocastici (es. insorgenza di neoplasie) non presentano soglie al di sopra delle quali si manifestano, possono verificarsi anche a distanza di anni dall'esposizione e la probabilità che si verifichino dipende dalla quantità di radiazione assorbita dall'individuo.

Effetti	Dose Soglia	Proporzionale alla dose	Gravità danno	Relazione causa-effetto
Deterministici (non casuali)	SI	Gravità danno	Specifico e Proporzionale alla dose	Generalmente certo
Stocastici	NO	Probabilità di verificarsi	Aspecifico (Tutto o Nulla)	Sempre Incerto

Danni Deterministici e Stocastici da radiazione tabella riepilogativa



Rappresentazione grafica del rapporto rischio/benefici di una procedura cardiologica secondo le linee guida AHA-ACC-ESC del 2007.

Ha senso parlare di dose radiante

Los Angeles Times | LOCAL

LOCAL U.S. & WORLD BUSINESS SPORTS ENTERTAINMENT HEALTH LIVING TRAVEL OPINION

L.A. NOW POLITICS CRIME EDUCATION O.C. WESTSIDE NEIGHBORHOODS ENVIRONMENT

IN THE NEWS: COPENHAGEN | MEDICAL MARIJUANA | IRAQ | ANTIDEPRESSANTS | TIGER WOODS | AUTO SHOW

THE RADIATION BOOM

After Stroke Scans, Patients Face Serious Health

By WALT BOGDANICH

Published: July 31, 2010

A total 24-7 university experience.

TCU
www.tcu.edu

3rd L.A.-area hospital in radiation overdose probe

County finds that 34 patients at Burbank's Providence St. Joseph Medical Center appear to have received excessive radiation from CT perfusion brain scans. The FDA widens its probe of the issue.



Within weeks of Alabama teacher Becky Coudert's CT perfusion brain scan, a bald strip circled her head. She reportedly had received several times the correct dose of radiation. (December 7, 2009)

When Alain Reyes's hair suddenly fell out in a freakish band circling his head, he was not the only one worried about his health. His co-workers at a shipping company avoided him, and his boss sent him home, fearing he had a contagious disease.

Only later would Mr. Reyes learn what had caused him so much physical and emotional grief: he had received a radiation overdose during a test for a [stroke](#) at a hospital in Glendale, Calif.

Other patients getting the procedure, called a CT brain perfusion scan, were being overdosed, too — 37 of them just up the freeway at Providence Saint Joseph Medical Center in Burbank, 269 more at the renowned Cedars-Sinai in Los Angeles and dozens more at a hospital in Alabama.

The overdoses, which began to emerge last year, set off an investigation by the [Food and Drug Administration](#) into why patients tested with yet lightly regulated technology were being

Books »



For the holidays | c

advert



Introducing the Re...
starting at \$199.

Learn More

The Latest | NEW

Aging computer syst...

Enlarge This Image



Hair loss in patients who received

L'atto radiologico è il risultato di processi all'interno dei quali, per quanto di rispettiva competenza, sono coinvolti:

- il medico specialista dell'Area Radiologica,
- lo specialista in fisica sanitaria,
- il tecnico sanitario di radiologia medica.

A.L.A.R.A

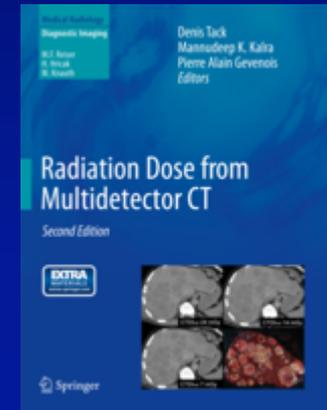
(US Nuclear Regulatory Commission website: www.nrc.gov)

- Il principio "As Low as Reasonably Achievable" (A.L.A.R.A.) sancisce che *occorre fare ogni sforzo per mantenere la dose radiante il più bassa possibile garantendo un'adeguata qualità "diagnostica" delle immagini senza esporre il paziente ad un inutile eccesso di radiazioni.*
- Dovrebbe essere tenuto in considerazione sempre, applicando tecniche di riduzione della dose radiante che non compromettano né la qualità diagnostica dell'esame stesso né la sua appropriatezza (May MS, Wuest W, Lell MM, et al. Current strategies for dosage reduction in computed tomography. *Radiologe* 2012; 52(10):905-13); (Yerramasu A, Venuraju S, Atwal S, et al. Radiation dose of CT coronary angiography in clinical practice: objective evaluation of strategies for dose optimization. *Eur J Radiol* 2012; 81(7):1555-61); (Iezzi R. How high concentration contrast media can help to reduce the radiation dose for the patient. *Solutions in Contrast Imaging* 2010; 1(1))

Ridurre la dose di radiazioni

(Jean-François Paul 2008. MDCT Technology and Applications – Selected Reviews e-ISBN 978-88-470-0802-1 Springer-Verlag Milan Berlin Heidelberg New York). Published online at www.mdct.net)

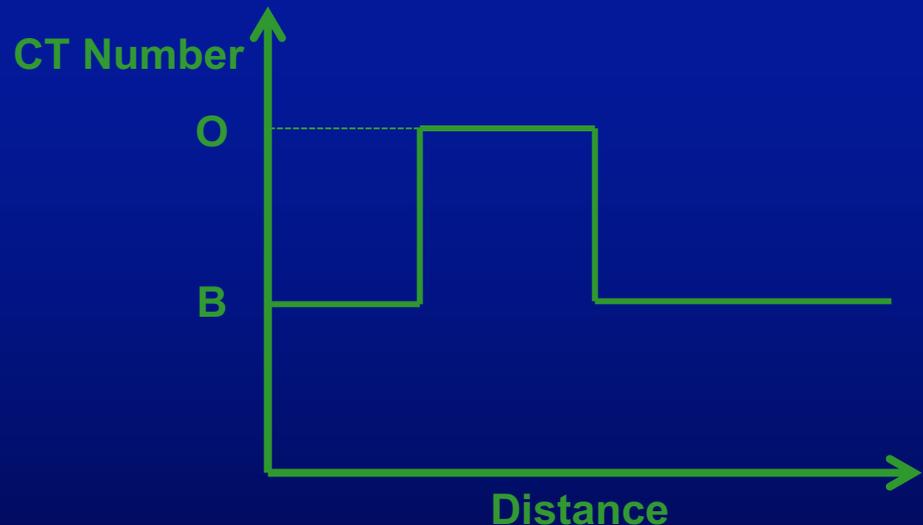
- Stando estremamente attenti all'appropriatezza:
 - Evitando esami inutili
- Cercando alternative alla TC
 - US – CE-US ; MRI – CE-MRI
- Ottimizzando i protocolli TC
 - Riducendo il numero di fasi acquisite, e/o
 - l'esposizione alle radiazioni utilizzando protocolli a bassa dose:
 - Riducendo il milliamperaggio
 - Riducendo il KiloVtaggio
 - Riducendo entrambi
 - Anche in abbinamento ad algoritmi iterativi dedicati di riduzione dose che modellizzano il sistema reale e riducono il rumore:
 - (iDose 4 (Philips),
 - ASIR-VEO (GE),
 - AIDR (Toshiba),
 - IRIS-SAFIR (Siemens)



Risoluzione di contrasto

- Capacità di definire e cogliere come diverse strutture adiacenti ma di densità diversa
- Contrasto = differenza nel CT Number (HU) tra l'oggetto ed il tessuto circostante =

$$CT_{\text{oggetto}} - CT_{\text{background}}$$

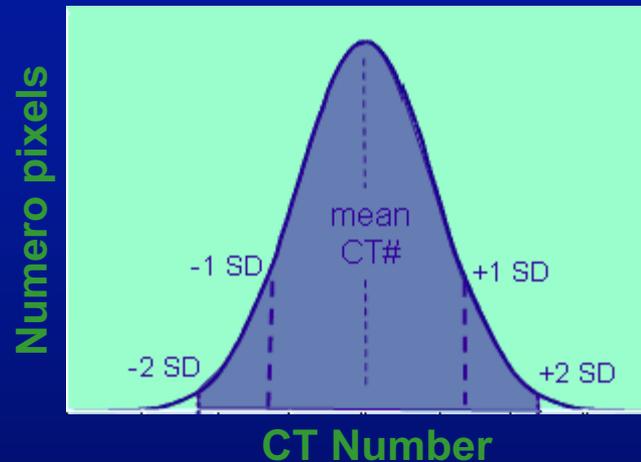


Rumore

- La deviazione standard (SD) si usa per misurare lo spread dei valori = rumore
- Il 95% dei valori dei pixels ricadono entro valori ± 2 SD

0	3	-1	0	3	0
3	4	0	-1	2	2
3	0	0	1	7	1
-5	2	-4	4	0	5
0	0	2	3	-1	2
2	0	1	-2	0	3

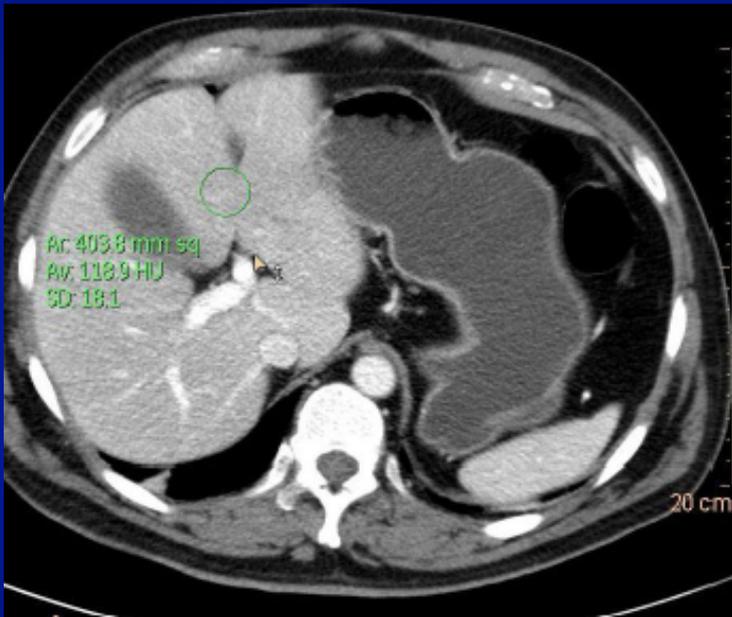
SD= 2.4



Il rumore dipende principalmente dai mAs

- La dose è:
- direttamente proporzionale ai mAs utilizzati e
- dipende dai Kv:
 - Ad un aumento dei kV corrisponde un aumento dei fotoni:
 - L'aumento è proporzionale al quadrato dei kVp

Misurare il rumore



- Si misura in UH:
 - Si valuta la SD degli UH in una ROI circolare: maggiore è il valore di SD maggiore sarà il rumore
 - Il valore di SD può essere usato come controllo di qualità: se in diverse misurazioni supera un certo valore la performance dello scanner è da rivalutare

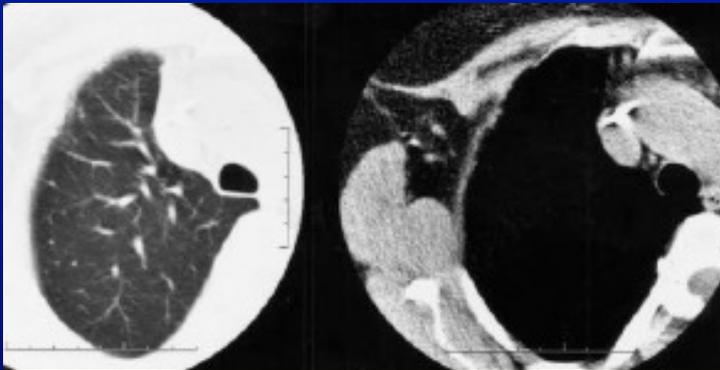
Il rumore dipende da vari fattori:

Fantoccio	20 cm acqua		32 cm acqua		
Spessore	1 mm	10 mm	1 mm	10 mm	Rumore
Smooth	6,6	2,1	21,2	6,7	
Soft	8,2	2,6	26,1	8,2	
Standard	9,9	3,1	31,5	10,0	
Shepp-Logan	12,3	3,9	39,6	12,5	
High	17,9	5,7	57,5	18,1	
Ultrahigh	34,9	11,0	112,2	35,4	

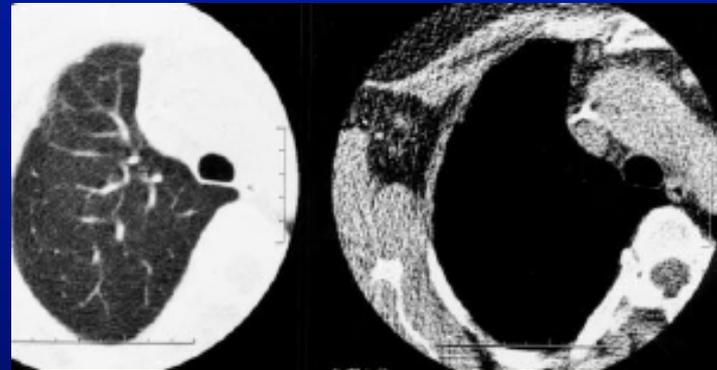
Contrasto intrinseco e mAs

- In strutture ad alto contrasto la dose può essere abbassata considerevolmente
- Questo grazie al contrasto intrinseco nelle strutture del torace ed al basso grado di attenuazione dell'aria

290 mAs

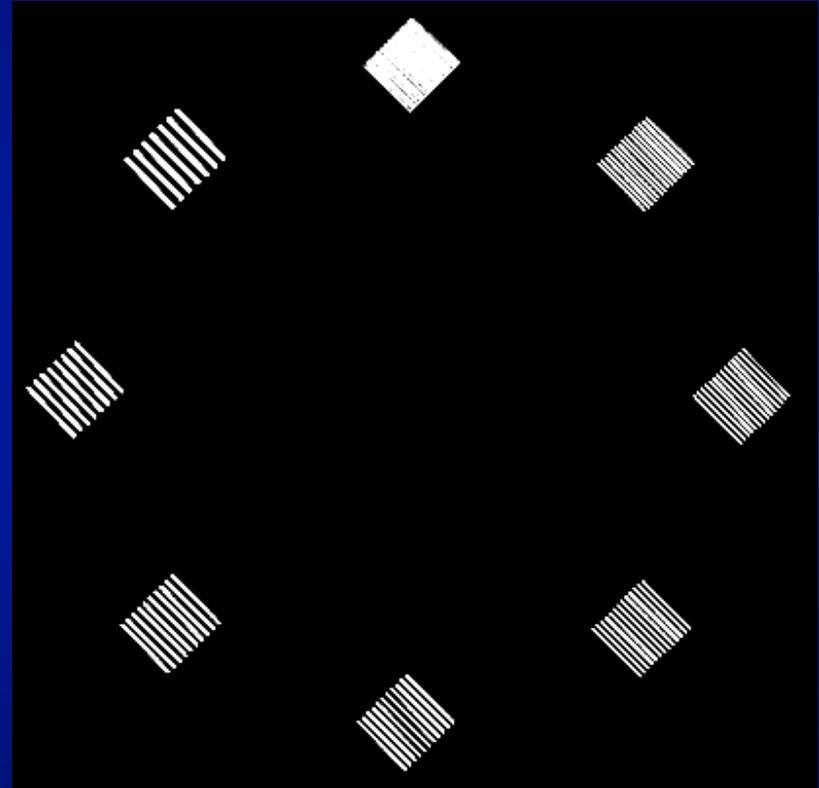


40 mAs



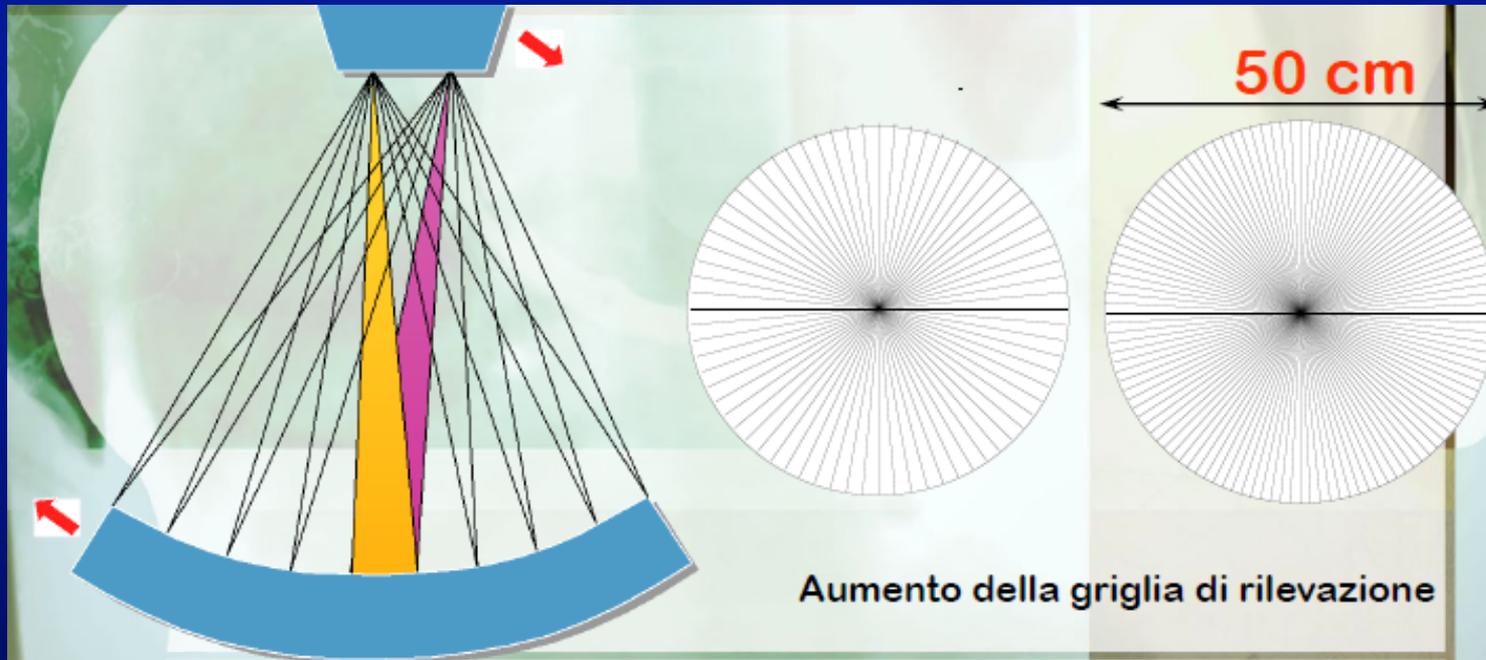
Risoluzione spaziale

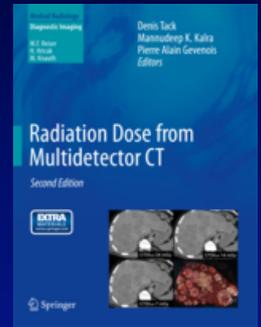
- Si misura in paia di linee per cm
- Definisce la capacità del sistema di definire piccole strutture e delinearne i contorni
- Pochi mettono in evidenza che la risoluzione spaziale dipende anche dalla risoluzione di contrasto
- Le varie case usano molte tecniche per aumentarla, le principali sono:
 - DFS (Dual Focal Spot); QDO (Quarter Detector Offset)



Dual Focal Spot

- La macchia focale viene fatta oscillare velocemente grazie ad un campo magnetico
- La doppia lettura consente un aumento della normale risoluzione spaziale del detettore





PAZIENTE

APPARECCHIATURA
Macchia focale
/ Rivelatori / Filtrazione
/ Collimazione /
Angolo di rotazione /
Geometria

**Principali
fattori che
influenzano
la dose**

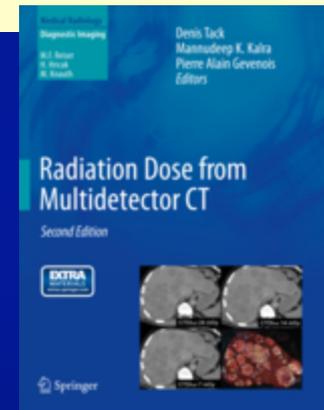
OPERATORE
Istruzioni al paziente
/ Centrazione / Estensione
della scansione / kV
/ mA / Tempo di
Scansione / FOV / Pitch /
Spessore dello strato /
Filtro

Modulazione della dose
Algoritmi di ricostruzione /
Algoritmi di riduzione del
rumore

- Il rapporto contrasto rumore è un importante parametro nella valutazione della qualità diagnostica delle immagini

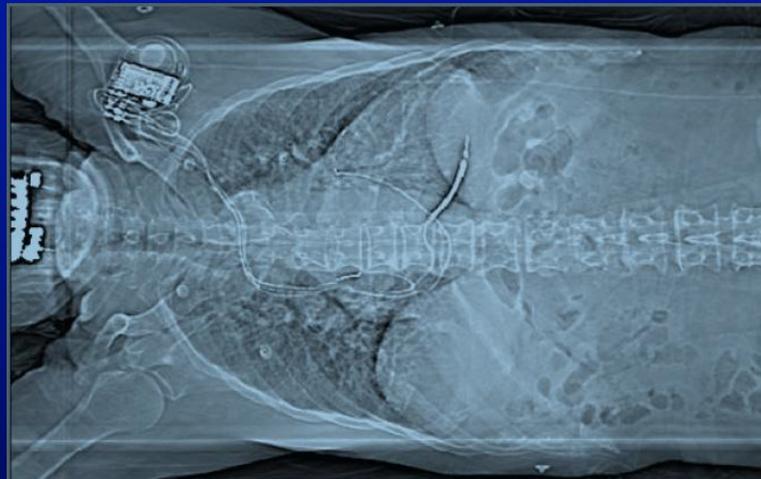
(Jean-François Paul et al in: Denis Tack, Mannudeep K. Kalra, Pierre Alain Gevenois Radiation Dose from Multidetector CT Medical Radiology 2012, pp 339-367 ISBN: 978-3-642-24534-3)

$$\text{CNR} = \frac{C}{R}$$



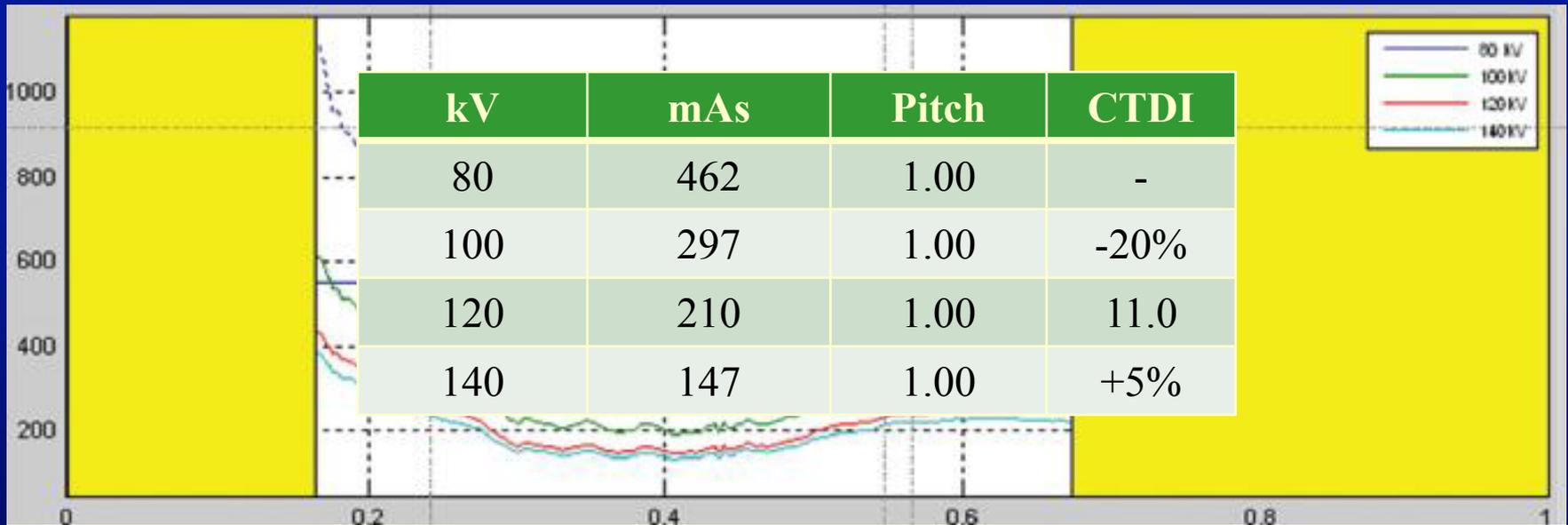
Care kV

- Nelle ultime versioni del software delle apparecchiature Siemens la macchina, basandosi sulla survey, propone, in automatico un valore di kV che tiene in considerazione:
 - la tipologia di esame scelto (vascolare, parenchimale, osseo, a vuoto)
 - E, per questo, eroga il migliore abbinamento tra corrente erogata dal tubo e minima dose efficace .



Care kV

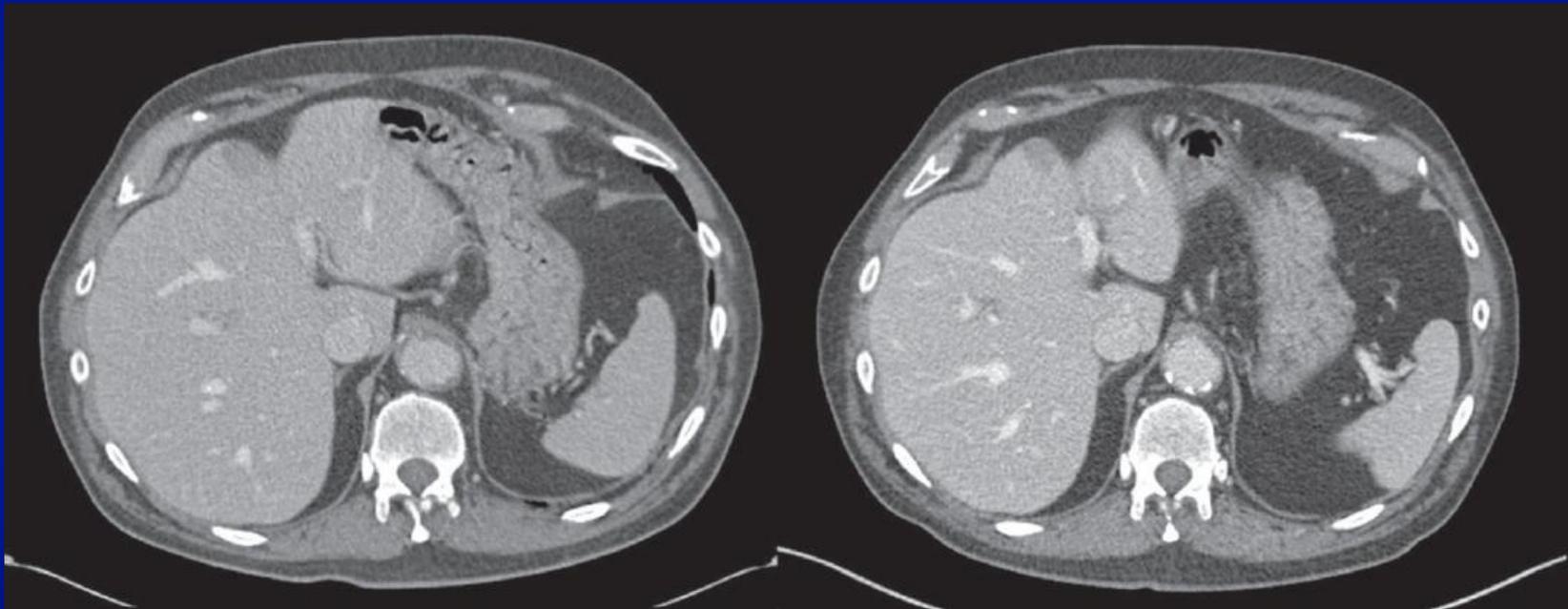
- Attraverso il Care KV si ottiene un esame a qualità comparabile ma con una dose inferiore a parità dei restanti parametri



Care kV

120 kV 199 mAs_{eff}

100 kV 324 mAs_{eff}



CTDI 15,31 mGy

CTDI 13,33 mGy

Dose e parametri tecnici (Brooks e DiChiro (1976))

- Sulla dose influiscono altri due parametri, spesso sottovalutati:
 - la grandezza della matrice di ricostruzione
 - la grandezza del FOV utilizzato
 - Passare da una matrice 512x512 ad una 768x768 o, peggio, 1024x1024 significa dover far fronte ad un peggior rapporto S/R, rapporto, quest'ultimo, correlato anche alla dimensione del FOV e quindi del pixel.

$$\text{Dose} = \frac{\text{mA} \times \text{kV}_p}{\sigma^2 \times W_{\text{pixel}}^3 \times S}$$

Dove: σ = rumore W_{pixel} = dimensione del pixel S = spessore di strato

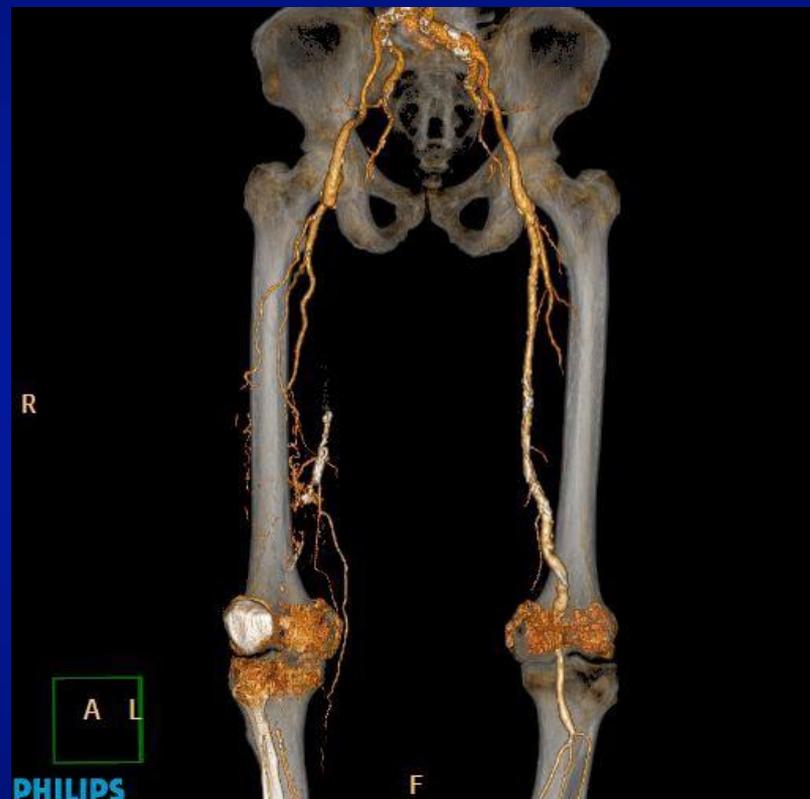
Dose e parametri tecnici breve riepilogo

- la dose è
 - direttamente proporzionale al prodotto dei mA per i Kv di picco
 - inversamente proporzionale al prodotto del quadrato del rumore per il cubo della dimensione del pixel per lo spessore di strato, in particolare:
 - per ridurre il rumore di un fattore 2 dobbiamo aumentare la dose di un fattore 4;
 - per aumentare la risoluzione spaziale (dimensione del pixel) di un fattore 2, a rumore costante, dobbiamo aumentare la dose di 8 volte;
 - dimezzare lo spessore di strato significa raddoppiare la dose (per mantenere costante il rumore)
 - aumentando i mA ed i kVp la dose aumenta in proporzione

Cosa si intende per dose ottimale?

- “optimized-dose” è la dose che fornisce immagini di buona qualità senza una eccessiva quota di radiazioni secondo il principio ALARA
- Si differenzia dalla “standard dose” che è quella normalmente indicata nei protocolli “nativi” della macchina e raccomandata dai produttori, è quella usata di routine ma può essere notevolmente ridotta – ad un livello ottimizzato – senza significativi effetti sulla qualità per avere uno studio low-dose”
dose equivalente ad uno studio analogo di radiologia tradizionale, la qualità iconografica è ridotta ma l’accuratezza diagnostica è conservata

- Le nuove tecnologie hanno aumentato le possibilità diagnostiche e le applicazioni modificando anche
 - efficienza e tipologia dei detettori
 - Collimatori & filtri
 - tecniche di ricostruzione
 - modi di acquisizione
 - gestione della dose



Courtesy of J.Negri ASUR Marche Ospedale Macerata

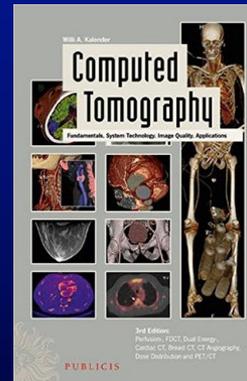
Evoluzione Tecnologica (adattata da Willi A. Kalender

“Computed Tomography: Fundamentals, System Technology, Image Quality, Applications” 3rd Edition Publicis ISBN-13: 978-0333041857)

Anno	Velocità (sec)	Thickness (mm)	Intervallo Ricostruzione (mm)	N° Totale scansioni
1980	10''	10	10	25-30
1985	5''	8-10	8-10	30-45
1990	1''	3-5	3-5	100
1995	0,75''	3	2-3	100
1999	0,5''	1-3	1-3	220
2003	0,4''	0,5-0,75	0,5-0,75	400-1.200
2005	0,33''	0,5-0,6	0,5-0,6	600-4.000
2008	0,27''	0,2	0,1	10-14.000

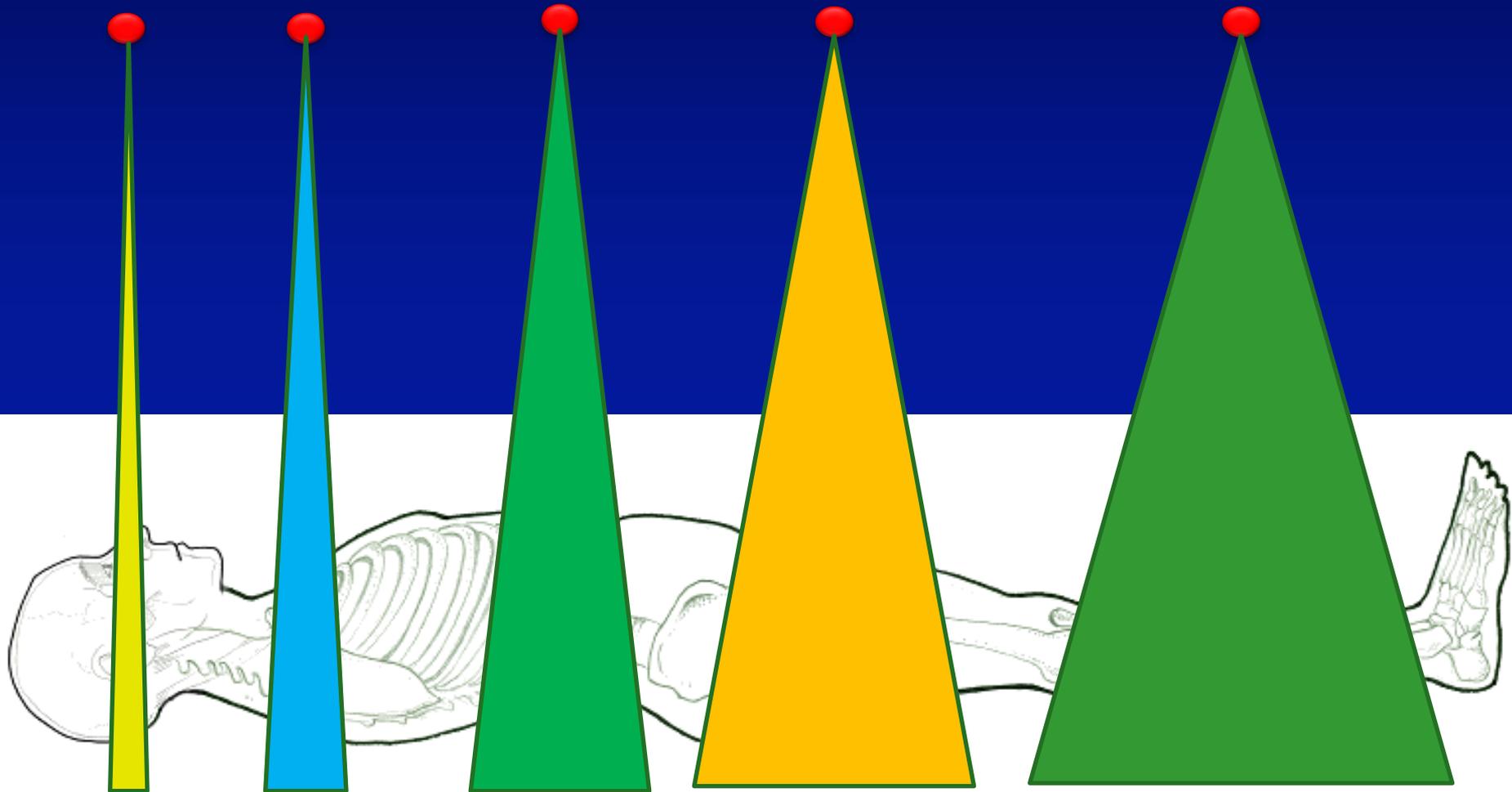


28 sec con 0,4 mm di risoluzione isotropica



Aumento di copertura corporea (adattata da Willi

A. Kalender "Computed Tomography: Fundamentals, System Technology, Image Quality, Applications" 3rd Edition Publicis ISBN-13: 978-0333041857)



1x5 mm
0,75" 1995

4x1 mm
0,5" 1998

16x0,75 mm
0,42" 2001

64x0,6 mm
0,33" 2004

320x0,5 mm
0,27" 2007