

Esercitazioni in radiologia interventistica

O. Rampado, P. Isoardi, R. Ropolo

S.C.D.O. Fisica Sanitaria 1
A.S.O. San Giovanni Battista di Torino

L'obbligo normativo

Il responsabile dell'impianto radiologico provvede affinché un esperto in fisica medica esegua periodiche valutazioni dosimetriche per le procedure comportanti alte dosi per il paziente, quali la radiologia interventistica (D. Lgs. 187 del 26.5.2000, art. 9).

Le raccomandazioni ICRP (n. 85/2000)

in cases where the maximum cumulative skin dose during the procedure is estimated to be at or above 3 Gy (1 Gy or above for procedures likely to be repeated), the minimum requirement should be that the interventionist should annotate suitable body map with the estimated doses, indicating the entry site of the beam at each stage of the procedure. Such annotated body map should be placed in the patient's notes

All regulatory agencies highlighted the need of a co-operation between interventionists and medical physicists, in order to establish the nominal doses (or usual ranges of doses) for the procedures that they commonly perform and to implement practical actions for patient dose reduction

Quali
grandezze

Rischi stocastici

Rischi deterministici
(danni alla cute)

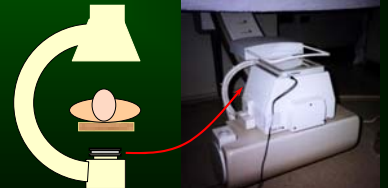
- Dose efficace (E) [mSv]
- Dose superficiale in ingresso (ESD) [mGy]
- Prodotto dose per area (DAP) [Gy cm²]

Misura del DAP



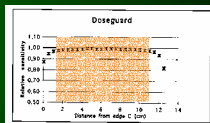
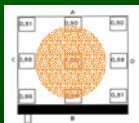
E' misurabile facilmente con una camera a ionizzazione trasmissiva che venga interamente attraversata dal fascio.

Quasi tutte le nuove unità per radiologia interventistica sono dotate di questi misuratori e forniscono il valore di DAP.



Attenzioni nella misura del DAP

→ Verificare che il campo si trovi all'interno della regione di omogeneità di rivelazione!

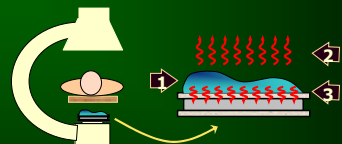


→ Le dimensioni tipiche del campo di radiazione in corrispondenza della finestra di uscita del tubo radiogeno sono:

Unità	Max IB	Dim. campo
Neuroradiologia	38	12
Interventistica vascolare	40	11
Emodinamica	23	7

Attenzioni nella misura del DAP

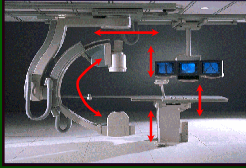
→ Correggere in caso di uso di filtri compensatori



La presenza dei filtri (1) altera la misura del DAP:

- per la radiazione retrodiffusa dal filtro (3)
- per l'attenuazione al DAP effettivo (2)

Misura dell'ESD



La valutazione della dose in ingresso superficiale in vivo è resa complessa dalle diverse condizioni di esposizione a cui è soggetto il paziente e dalla necessità di utilizzare strumenti di misura che non interferiscano con il regolare svolgimento dell'intervento.

Misura dell'ESD: come?

Valutazione DIRETTA

Tramite misure con dosimetri posizionati in prossimità della cute



Valutazione INDIRETTA

Dato dosimetrico in posizione di riferimento o parametri di esposizione

↓
Modello di calcolo

↓
Stima di ESD

Misura dell'ESD: dove?

Valutazione puntuale

Dosimetri puntuali posizionati in posizioni specifiche (valore massimo?)



Valutazione integrale

Valutazione di una distribuzione di dose sulla superficie cutanea



Misura dell'ESD: quando?

Valutazione in tempo reale

La valutazione del valore massimo di ESD è disponibile durante l'intervento



Valutazione successiva all'intervento

La lettura dei dosimetri e la valutazione associata è resa disponibile successivamente all'intervento



Strumenti per la valutazione dell'ESD

	DIRETTA	INDIRETTA
Puntuale	TLD Diodi MOSFET Microrivelatori a scintillazione	Stima a partire dai parametri di esposizione in assenza di informazioni geometriche
Integrale	Pellicole radiografiche Pellicole radiocromiche	Stima a partire dai parametri di esposizione o dose in posizione di riferimento + maggior numero di informazioni geometriche

■ In tempo reale

■ Successivamente all'intervento

Valutazione con TLD

Vantaggi:



elevata accuratezza nei punti di misura

Svantaggi:



problema di posizionamento!
tempi elevati per calibrazione e lettura

Soluzioni operative adottate per il posizionamento:

- posizionamento sulla cute del paziente nei punti di ingresso del fascio nelle geometrie d'irraggiamento principalmente impiegate.

- posizionamento in quattro punti perimetrali della regione più irradiata → grandezza di confronto.

- matrice di TLD

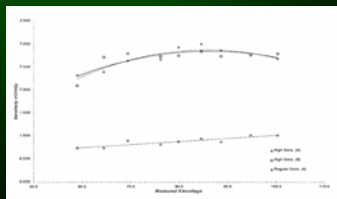
Valutazione con diodi MOSFET

Sensitivity: 1-3 mV/mGy

Active area: 0.2 mm x 0.2 mm

Uncertainty: 5 % a 10 mGy

Measurement range: 4 – 7000 mGy



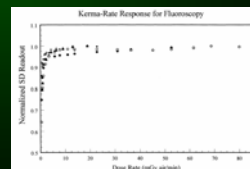
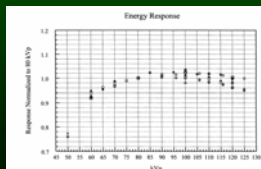
Valutazione con rivelatori a scintillazione

Active area: head of a match

Uncertainty: 2.5 % (calibration), 20% total

Measurement range: up to 20000 mGy

Directivity: errors negligible for + - 30°



Strumenti per la valutazione dell'ESD

	DIRETTA	INDIRETTA
Puntuale	TLD Diodi MOSFET Miorivelatori a scintillazione	Stima a partire dai parametri di esposizione in assenza di informazioni geometriche
Integrale	Pellicole radiografiche Pellicole radiocromiche	Stima a partire dai parametri di esposizione o dose in posizione di riferimento + maggior numero di informazioni geometriche

■ In tempo reale

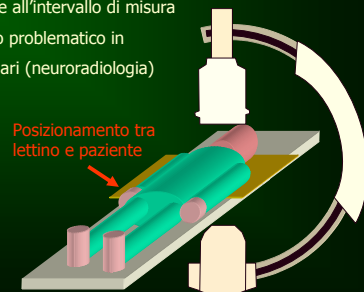
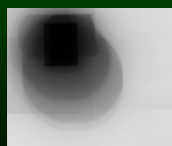
■ Successivamente all'intervento

Valutazione con pellicole

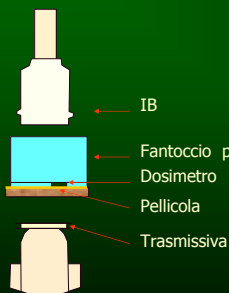
Vantaggi: → valutazione diretta dell'intera distribuzione di dose

Svantaggi: → eventuali limitazioni legate alla sensibilità non uniforme e all'intervallo di misura

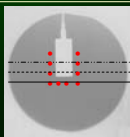
→ posizionamento problematico in geometrie particolari (neuroradiologia)



Calibrazione delle pellicole



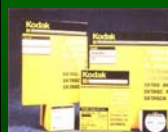
- Esposizione contemporanea di pellicola, dosimetro indipendente e camera trasmittiva
- Misure in aria e in altre configurazioni per valutazione contributo retrodiffusa e attenuazione lettino



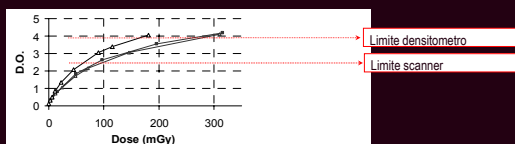
Pellicole radiografiche

Esempio di dotazione strumentale:

- Pellicole Kodak X-Omat V
- Densitometro a punto Pehamed Densoquick 2
- Scanner Agfa Arcus II a 12 bit con acquisizione in trasmissione
- Multimetro e Dosimetro PMX III

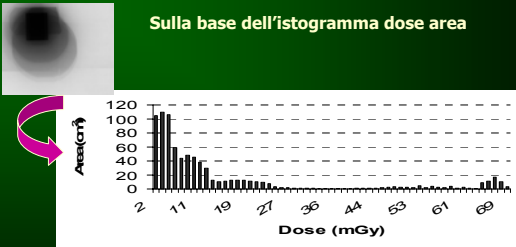


Curve di calibrazione



Elaborazione delle distribuzioni di ESD

Sulla base dell'istogramma dose area



- Calcolo del prodotto dose per area
- Calcolo della dose in ingresso media sulla regione maggiormente esposta

Elaborazione delle distribuzioni di ESD

Considerando i livelli di dose D_i della distribuzione e le aree interessate A_i è possibile ricavare una valutazione del DAP:

$$DAP_{film} = \sum_{i=1}^{i=n} A_i D_i$$

Il DAP_{film} differisce dal DAP per:

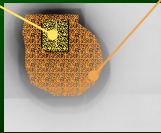
- attenuazione lettino
- radiazione retrodiffusa dal paziente
- diversa sensibilità delle pellicole

$$DAP_{film} = C_{fi} DAP$$

Calcolo della dose in ingresso media sulla regione maggiormente esposta

$$A_{d\ max} = \sum_{i=k}^{i=n} A_i$$

$$DAP_{film}^I = \sum_{i=1}^{i=k} A_i D_i$$

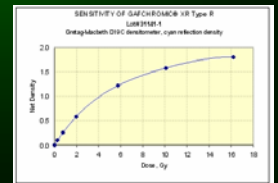


$$ESD_{max} = [(DAP - DAP_{film}^I / C_{fi}) C_{lr}] / A_{D\ max}$$

Pellicole radiocromiche

Rispetto alle pellicole radiografiche offrono i seguenti vantaggi:

- indipendenza dalla luce ambientale
- autosviluppo
- indicazione approssimativa in tempo reale
- intervallo di misura molto ampio
- limitata dipendenza dall'energia del fascio (<3% per 80-120kVp)



Osservazioni su calibrazione e lettura

Strumentazione utilizzata:

- Pellicole Gafchromic XR Type T
- Scanner Microtek 9800 XL formato A4 con 16 bit per colore
- Software Picodose

Omogeneità delle acquisizioni con scanner

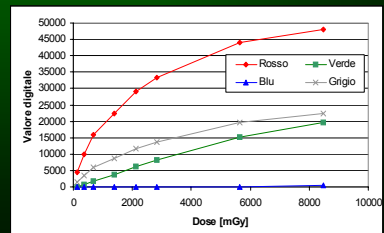


Alcuni lavori in letteratura suggeriscono di acquisire contemporaneamente alle pellicole una strip di taratura dello scanner, in modo da rendere ripetibile le autoregolazioni sulla base dei valori minimo massimo di intensità presenti nell'immagine.

Osservazioni su calibrazione e lettura

Dipendenza dal canale colore

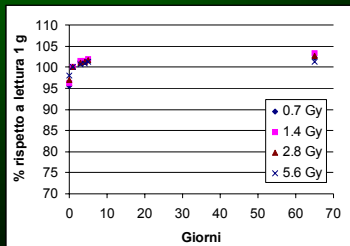
Le misure effettuate confermano la convenienza nell'uso del canale colore rosso dello scanner, per il quale si hanno in media circa 10000 valori digitali per Gy.



Osservazioni su calibrazione e lettura

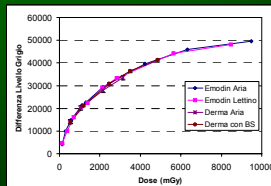
Dipendenza temporale della lettura

Si ha una variazione del 4 – 5 % in valore digitale nelle prime 24 ore, e di 1 – 2 % nei giorni seguenti.

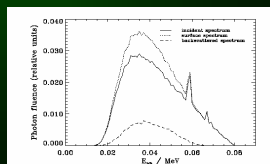


Osservazioni su calibrazione e lettura

Sensibilità alla radiazione retrodiffusa



A differenza delle altre pellicole per gammagrafia le differenze spettrali tra fascio primario e radiazione retrodiffusa non sembrano avere una influenza importante



Al di sotto di 80 kV la risposta è maggiormente dipendente dall'energia. A 60 kV è circa 6% in meno, a 40 kV 20% e a 20 kV 50%. La radiazione di back scatter ha uno spettro del tipo mostrato in figura

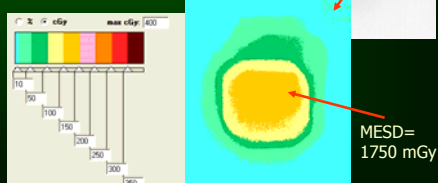
Esempio di risultato ottenuto

Procedura di PTCA doppia.

Tempo scopia: 17.6 min
Numero Frame: 2420 (34 run)

DAP scopia: 66.6
DAP grafia: 91.9

DAP totale: 158.5



Strumenti per la valutazione dell'ESD

	DIRETTA	INDIRETTA
Puntuale	TLD Diodi MOSFET Miorivelatori a scintillazione	Stima a partire dai parametri di esposizione in assenza di informazioni geometriche
Integrale	Pellicole radiografiche Pellicole radiocromiche	Stima a partire dai parametri di esposizione o dose in posizione di riferimento + maggior numero di informazioni geometriche

In tempo reale

Successivamente all'intervento

Metodi di misura indiretti

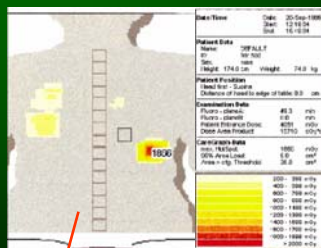
Situazioni possibili:

- software di calcolo della distribuzione di ESD integrati con l'apparecchiatura interventistica, in modo da combinare i parametri geometrici noti con i dati di esposizione e di rendimento (PEMNET) o con i dati di una camera trasmisiva (CAREGRAPH);

- misura con camera trasmisiva a doppio canale e sistema di acquisizione dati con inserimento dei parametri geometrici e visualizzazione in tempo reale della distribuzione di dose;

- calcolo sulla base dei valori di DAP totale o sui presunti parametri di esposizione e geometrici insieme ai valori di tempo di scopia e numero di immagini, essendo noti i tassi di dose in condizioni standard.

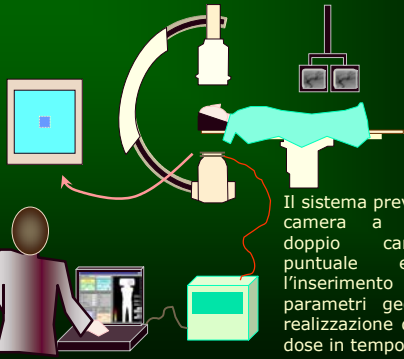
Sistema Caregraph Siemens



→ Modello matematico per combinare i dati di DAP provenienti da camera trasmisiva con dati geometrici dell'unità e del paziente

Matrice di elementi 0.5 x 0.5 cm con aggiornamento dei dati calcolati di ESD ogni 0,5 s.

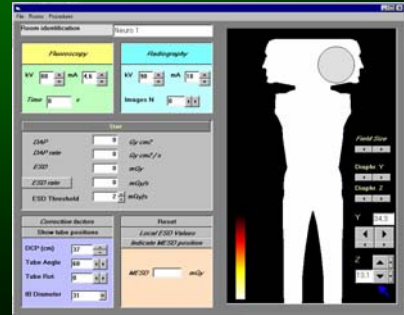
Sistema Fisica Sanitaria Molinette



Il sistema prevede l'uso di una camera a ionizzazione a doppio canale (misura puntuale e su area) e l'inserimento manuale dei parametri geometrici per la realizzazione di una mappa di dose in tempo reale

Sistema Fisica Sanitaria Molinette

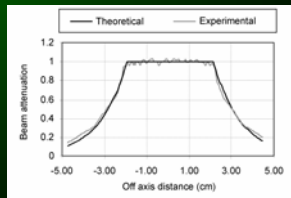
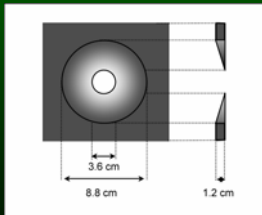
Interfaccia grafica del software di acquisizione dati



Sistema Fisica Sanitaria Molinette

Correzione per filtro di modulazione ROI

Alcune unità utilizzano un filtro di modulazione per migliorare l'immagine nella regione d'interesse e per ridurre la dose al paziente e all'operatore.



Sistema Fisica Sanitaria Molinette

Calcolo dell'ESD in tempo reale

Per ogni pixel i, j appartenente alla porzione di superficie irradiata si calcola l'incremento j :

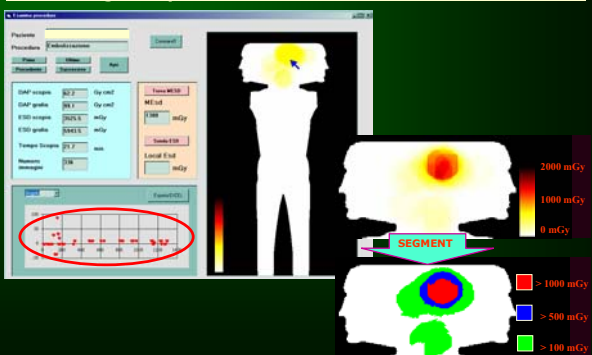
$$\Delta ESD_{i,j} = \Delta K_{air,j} K_{pt} \left(\frac{DFC}{DCP_{i,j} + DFC} \right)^2 K_{mod} K_{att} BSF$$

Fattore	Descrizione	Incertezza
$\Delta K_{air,j}$	Incremento kerma in aria da camera tras.	2,5 %
K_{pt}	Correzione pressione temperatura	1 %
DFC	Distanza fuoco camera	1 cm
DCP	Distanza camera paziente	15 %
K_{mod}	Correzione per filtro modulazione	5 %
K_{att}	Correzione per attenuazione lettino	8 %
BSF	Correzione per back scatter	5 %

INCERTEZZA TOTALE A LIVELLO DI $1 \sigma \rightarrow 20\%$

Sistema Fisica Sanitaria Molinette

Interfaccia grafica per l'analisi e l'elaborazione dei risultati ottenuti



Sistema Fisica Sanitaria Molinette

Esempi di risultati ottenuti in procedure di embolizzazione cerebrale

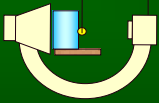
Quantity	U	Mean	Min	Max
DAP	Gy cm ²	191.7	124.5	343
Fluoro Time	Min.	35.8	21.7	51
Frames number	-	294	214	336
MESD	mGy	1288	690	1710
Cumulative ESD	mGy	1835	1285	2810
Concentration factor	-	4.8	3.4	5.8

A method for a real time estimation of entrance skin dose distribution in interventional neuroradiology

O. Rampado[®] and R. Ropolo
 Struttura Complessa Fisica Sanitaria, Azienda Ospedaliera San Giovanni Battista, Corso Bramante 88,
 10126 Torino, Italy

(Received 4 November 2003; revised 1 June 2004; accepted for publication 1 June 2004;
 published 26 July 2004)

Stima di ESD con parametri di esposizione



Misura rateo di dose ingresso fantoccio
(verifica criteri di accettabilità)

Rateo di dose in scopia automatico ingresso paziente con backscatter					
7					
8					
9	DFR [cm] =	75			
10	Modalità	Ø I.B.	mGy/min	kV	mA
11	Low	23	12,9	78	19,2
12	Low	17	19,6	84	19,1
13	Low	14	22,4	87	18,4

Valutazione intensità di dose ingresso paziente - grafia

Protocollo esami	frame/s	Ø I.B.	kV	mA	mGy/frame
DFR [cm] =	75				
Coronarografia	12,5	23	65	453	0,17
Coronarografia	12,5	17	71	615	0,27

Stima di ESD con parametri di esposizione

Sala Interventistica: **Endonemica S.C. Cardiologia 2 (Cesena)**
 Modello: **Philo H 5000**
 Distanza normale di lavoro: **70** Distanza fuoco IB: **100**

Scopia
 Modalità: **Prop** Minuti: **1** **Dati ODS**
 Diametro IB: **17** ESD: **1875,3** mGy

Grafia
 Modalità: **Coronarografia** Frames: **1500** **Dati ODS**
 Diametro IB: **14** ESD: **700** mGy

Procedura di PTCA doppia.

ESD totale: 1975 mGy

Parametri per calcolo E

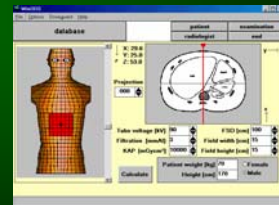
Tubo Voltage [kV]: **75** FSD [cm]: **75**
 Filtration [mmAl]: **2,40** Field Width [cm]: **13,5**
 RAP [mGy/cm²]: **0,35212** Field Height [cm]: **13,5**

Dose efficace

- In generale modalità di stima analoghe alla radiologia tradizionale
- Effettuata sulla base del DAP o dell'ESD con fattori di conversione:
 - per proiezioni note
 - per caratteristiche geometriche medie

Stima di E con film

Programma ODS - 60 (RTI Electronics)



Configurazione campi equivalenti

Dati intervento
Dati apparecchio
Dati paziente

Calcolo
Dose efficace

Identificazione campi equivalenti

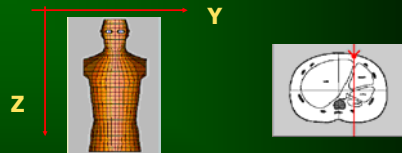


Acquisizione
pelicole

Identificazione livelli di dose
corrispondenti ai
quartili della distribuzione

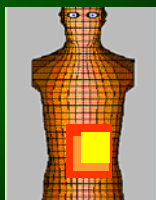
Determinazione campi equivalenti e
posizione reciproca

Posizionamento dei campi



Procedura	Y	Z
Drenaggio biliare	23	54
Pielostomia SX	31	57
Chemoembolizzazione	23	49

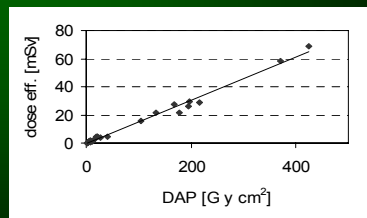
Calcolo



Campi equivalenti	Y baric.	Y baric.	Lato orizz.	Lato Vertic.	DAP (mGy·cm ²)
Campo 2 (> 2° quar.)	23	55	26.7	24.5	624
Campo 3 (> 3° quar.)	22	54	18.7	17.5	3122
Campo 4 (> 70 mGy)	22	56	10.1	11.5	10715

Correlazione DAP- dose efficace

Per procedure su distretti addominali



$$\frac{E}{DAP} = 0.15 \text{ mSv Gy}^{-1} \text{ cm}^{-2} \quad (\rho : 0.99)$$

Conclusioni

- > Ratei di dose delle unità in tutte le modalità di funzionamento per poter effettuare stime dosimetriche in assenza di misura diretta.
- > Valutazioni di dose in vivo per caratterizzare i valori tipici dei principali indici dosimetrici e attuare eventuali azioni di ottimizzazione.
- > Mappe complete di ESD. Gli strumenti migliori risultano essere le pellicole gafcromiche e i programmi per valutazione indiretta online con combinazione di dati dosimetrici e geometrici.

Fine!

