



VALUTAZIONE DELLA DOSE AL FETO

Alberto Pilot
Azienda Ospedale – Università
S.Martino di Genova



Sviluppo della relazione

- Effetti biologici sul nascituro
- Aspetti normativi (Art.10 D.lgs187/00)
- Valutazione della dose al feto (Rx convenzionale e CT)

Effetti biologici sul nascituro

- **deterministici**
 - Effetti letali
 - Malformazioni
 - Ritardo mentale
- **stocastici**
 - Malattie neoplastiche
 - Effetti ereditari

Effetti biologici sul nascituro

La tipologia dell'effetto biologico dovuto all'esposizione dipende dai seguenti fattori :

- fase dello sviluppo del nascituro
- dose assorbita

Sviluppo del nascituro

- **Fase pre-impianto** (dal momento del concepimento a quello dell'impianto, due settimane)
- **Fase principale dello sviluppo (organogenesi)** (si estende dalla terza settimana sino alla settima settimana dall'ovulazione)
- **Fase dello sviluppo fetale** (dalla ottava settimana di gestazione sino alla nascita)

Effetti deterministici: effetti letali

- Effetti letali si possono manifestare nelle prime settimane dal concepimento (0 – 2 sett) da esperimenti su animali tale effetto si può manifestare per dosi > 100 mGy

Per dosi tra 0,5 e 1 Gy gli effetti letali si possono manifestare in qualunque periodo della gravidanza

Effetti deterministici: *malformazioni*

- Periodo di massimo rischio (3 – 8 sett) periodo dell'organogenesi.
- Si assume che la dose soglia per la comparsa di tali effetti sia di 100 mSv

Effetti deterministici: *ritardi mentali*

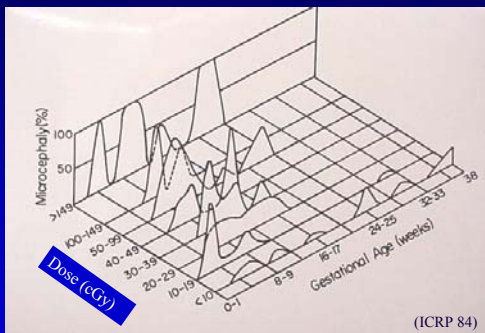
- Esposizioni comprese tra l'ottava e quindicesima settimana possono indurre ritardi mentali



30 punti di Q.I. per Sv

3 punti di Q.I. per 100 mSv

Frequency of microcephaly as a function of dose and gestational age occurring as a result of in-utero exposure in atomic bomb survivors (Miller 1976)



(ICRP 84)

Dosi minime per il manifestarsi di effetti deterministici

Età embrionale o fetale (settimane)	Dosi soglia (mGy)		
	Effetti letali	Malformazioni	Ritardi mentali
0 - 2	100		
3 - 7	100 (250-500)	50-250 (200-500)	
8 - 15	100 (500)		100-300
16 - 25	500		300
>25	1000		

Incidenze naturali

- **Malformazioni congenite** alla nascita sono riscontrabili nel **6%** di tutti i nati vivi (UNS86)
- I **ritardi mentali gravi**, nei nati vivi, possono essere considerati lo **0,5%** (ICR92)

Effetti biologici di tipo stocastico (ICRP60)

Probabilità di sviluppare malattie neoplastiche:

- $15\% \times \text{Sv}^{-1}$ (3 volte più elevata che nell'adulto)
- $150 \times 10^{-6} \text{ mSv}^{-1} \longrightarrow 1 \text{ caso su } 6.666$

*Su 100.000 che sono esposti a 1mSv
15 svilupperanno un cancro fatale*

Numero di decessi per cancro nell'infanzia
(0-10 anni) è dello 0,1% - 1 caso su 1000 (UNS86)

Stima della probabilità di tumori letali radioindotti

Esame radiologico	Dose media al feto (mSv) <i>Allegato VI D.lgs187/00</i>	Probabilità di tumori radioindotti
Rx addome (AP)	1.4	1 su 4.667
Clisma opaco	6.8	1 su 967
Colonna lombare	1.7	1 su 4.000
Pelvi	1.1	1 su 6.000
Urografia	1.7	1 su 4.000
CT addome	8.0	1 su 833
CT pelvi	25	1 su 267

Quantificazione del danno stocastico di tipo genetico

- **Dati scarsi e poco attendibili** (nella progenie dei sopravvissuti dalle esplosioni nucleari di Hiroshima e Nagasaki, 90.000 persone, nella prima generazione non sono state osservate significative variazioni rispetto ai valori epidemiologici dei soggetti non esposti)
- **Si stima in via del tutto cautelativa, per estrapolazione partendo da esperimenti su animali**, che vi sia una probabilità di rischio di mutazioni genetiche significative nei nascituri di individui esposti di circa:

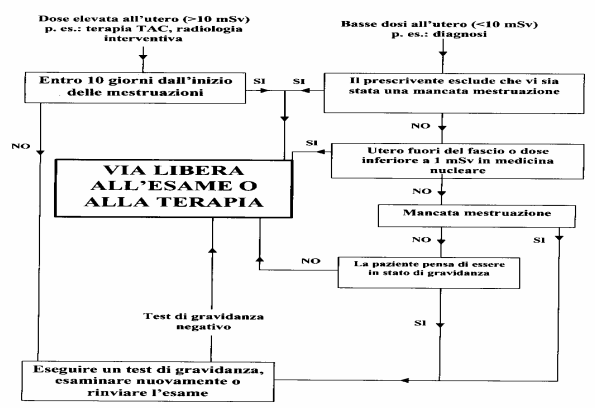
$$1,3 \% \times Sv^{-1} \quad (13 \times 10^{-6} \text{ mSv}^{-1})$$

Rischi associati alla irradiazione durante lo sviluppo del feto

	Preimpianto	Organo genesi	Stadio iniziale	Stadio intermedio	Stadio finale
Giorni dal concepimento	0 - 8	9 - 50	51 - 105	106 - 175	>175
Settimane dal concepimento	2	3 - 7	8 - 15	16 - 25	>25
Mortalità	+++	+	+	-	-
Malformazioni	-	+++	+	+	-
Ritardo mentale	-	-	+++	+	-
Malattie degenerative	-	+	+	+	+

ASPETTI NORMATIVI

Pazienti in età fertile Schema riassuntivo



Art.10 comma 2 D.lgs187/00

Nei casi in cui non possa essere esclusa la gravidanza

- Lo specialista considera la dose all'utero sulla base delle valutazioni dosimetriche.
- Se la dose è $> 1 \text{ mSv}$ pone particolare attenzione al principio di giustificazione, alla necessità, all'urgenza e alla possibilità di procrastinare l'esame.

Art.10 comma 2 D.lgs187/00

Se l'esame non è procrastinabile lo specialista :

- informa la donna sui possibili rischi per il nascituro
- pone particolare attenzione al principio di ottimizzazione (*raccomandazioni dell'allegato VI D.lgs 187/00*)

Valutazioni dosimetriche

Lo specialista considera la dose all'utero sulla base delle valutazioni dosimetriche



- Tramite le tabelle dosimetriche (*allegato VI del D.lgs187/00*)
- Avvalendosi dell'Esperto in Fisica Medica

Tabelle di valutazione della dose all'utero per esami rx convenzionali

(allegato VI D.Lgs 187/2000)

Tensione (kV)	Prodotto Corrente-tempo (mAs)	Dose all'utero (mSv)
70	1	0,04
90	1	0,1
110	1	0,2

Tabelle di valutazione della dose all'utero per esami CT

(allegato VI D.Lgs 187/2000)

Tensione (kV)	Prodotto Corrente-tempo (mAs)	Dose all'utero (mSv)
120 - 130	1	0,1

Tabelle di valutazione della dose all'utero per esami rx convenzionali (D.Lgs 187/2000)

Esami rx	Equivalente di dose al feto (mSv) Valore medio	Equivalente di dose al feto (mSv) Valore max
Cranio - Torace Colonna dorsale	<0,01	<0,01
Addome (AP)	1,4	4,2
Colonna lombare	1,7	10
Urografia	1,7	10
Clisma opaco	6,8	24
Digerente	1,1	5,8

Tabelle di valutazione della dose all'utero per esami CT (D.Lgs 187/2000)

Esami CT	Equivalente di dose al feto (mSv) Valore medio	Equivalente di dose al feto (mSv) Valore max
CT - cranio	<0,005	<0,005
CT - torace	0,06	0,96
CT - addome	8	49
CT - Pelvi	25	79

Valutazione della dose all'utero

- Fare riferimento alle tabulazioni dosimetriche dell'allegato VI D.lgs187/00 è un metodo rapido ma estremamente impreciso (da usarsi da parte dello specialista solo per orientarsi sulla dose erogata)

Metodo corretto: avvalersi delle competenze dell'Esperto in Fisica Medica

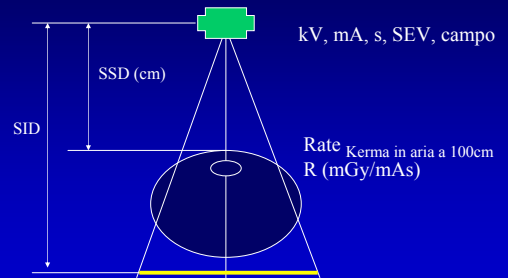
Valutazione della dose all'utero

Esperto in Fisica Medica:

- Misurare direttamente la dose con strumenti opportunamente tarati: TLD, camera ad ionizzazione, ecc. (metodo preciso ma dispendioso)
- Utilizzare modelli che si basano su simulazioni Monte Carlo partendo dalle caratteristiche tecniche con cui viene eseguito l'esame e i relativi valori d'esposizione in aria (metodo consigliato)

Valutazione della dose all'utero per esami radiologici convenzionali

Valutazione della dose all'utero per esami radiologici convenzionali (ICRP34)



$$D_{\text{utero}} \text{ (mGy)} = R \text{ (mGy/mAs)} \times \text{mAs} \times (100/\text{SSD})^2 \times F_{\text{utero}} \text{ (mGy/Gy)}$$

Dose assorbita all'utero (mGy) per tipologia e proiezione d'esame partendo da una dose d'ingresso in aria di 1 Gy (TabA7 - ICRP34)

Table A7. Average absorbed dose (mGy) in the uterus (embryo) for selected x-ray projections.¹ 1 Gy entrance kerma (air kerma in air without backscatter)

Projection	View	SID (cm)	Image receptor size (cm) ²	Beam quality (HVL, mm Al)						
				1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	
Pelvis, lumbopelvic	AP	102	43.2 x 35.6	163	244	325	406	484	559	
	LAT	102	35.6 x 43.2	15	29	45	64	80	112	
	PA	102	35.6 x 43.2	153	229	305	379	451	519	
Abdominal ²	AP	102	35.6 x 43.2	64	103	149	200	255	314	
	LAT	102	35.6 x 43.2	15	26	43	61	82	105	
	PA	102	35.6 x 43.2	147	217	287	355	421	482	
Lumbar spine	AP	102	35.6 x 43.2	121	176	230	281	328	373	
	LAT	102	35.4 x 30.4	11	22	33	48	66	83	
	PA	102	35.4 x 30.4	111	166	221	276	331	386	
Hip (one side)	AP	102	35.4 x 30.4	11	22	33	48	66	83	
	LAT	102	35.4 x 30.4	11	22	33	48	66	83	
	PA	102	35.4 x 30.4	111	166	221	276	331	386	
Full spine (chiropractic)	AP	183	35.6 x 91.4	177	266	354	442	526	606	
	LAT	183	35.6 x 91.4	40	51	64	72	85	99	
	PA	183	35.6 x 91.4	177	266	354	442	526	606	
Lithogram, cystography	AP	102	25.4 x 30.4	155	230	305	376	444	507	
	LAT	102	35.6 x 43.2	11	18	29	39	52	64	
	PA	102	35.6 x 43.2	111	166	221	276	331	386	
Upper C.I.	AP	102	35.6 x 43.2	1.2	2.3	3.8	5.6	7.8	10	
	LAT	102	35.6 x 43.2	1.2	2.3	3.8	5.6	7.8	10	
	PA	102	35.6 x 43.2	1.2	2.3	3.8	5.6	7.8	10	
Femur (one side)	AP	102	17.8 x 43.2	1.8	3.5	5.5	8	11	14	
	LAT	102	17.8 x 43.2	0.8	1.7	2.6	4.7	6.8	9.5	
	PA	102	17.8 x 43.2	0.8	1.7	2.6	4.7	6.8	9.5	
Cholecystography	AP	183	35.6 x 43.2	0.3	0.8	1.5	2.3	3.5	4.9	
	LAT	183	35.6 x 43.2	0.3	0.7	1.5	2.3	3.0	5.2	
	PA	183	35.6 x 43.2	0.1	0.3	0.6	0.9	1.4	2.1	
Ribs, barium swallow	AP	102	35.6 x 43.2	0.1	0.3	0.6	1.0	1.5	2.3	
	LAT	102	35.6 x 43.2	0.1	0.3	0.6	1.0	1.7	2.5	
	PA	102	35.6 x 43.2	0.03	0.09	0.2	0.3	0.5	0.7	
Thoracic spine	AP	102	35.6 x 43.2	0.2	0.5	0.9	1.5	2.4	3.0	
	LAT	102	35.6 x 43.2	0.1	0.3	0.6	0.9	1.5	1.7	
	PA	102	35.6 x 43.2	0.05	0.1	0.2	0.5	0.6	0.9	
Skull, cervical spine, scapula, shoulder, humerus	AP	102	35.6 x 43.2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
	LAT	102	35.6 x 43.2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
	PA	102	35.6 x 43.2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	

Esempio: calcolo della dose all'utero per un esame convenzionale dell'addome

VALUTAZIONE DI DOSE ALL'UTERO (FETO) PER INDAGINE RADIOLOGICA IN GRAVIDANZA

ID	Grafia [Scopia]	N [sec]	Tipo indagine	kV	mAs [mA]	SID (cm)	Spess. paz.(cm)	SSD (cm)	Rate kerma in aria a 1m (mGy/mAs)	Kerma in aria a 1m (mGy)	Kerma ingresso (mGy)	Dose utero ICRP34 (mGy/Gy)	Dose utero (mGy)
1	grafia	4	addome	70	32	100	25	65	0,04	5,12	12	379	4,6
2	scopia	60	addome	65	0,6	100	25	65	0,04	1,44	3	379	1,3
TOTALE												5,9	

$$D_{\text{utero}} = 0,04 \times (32 \times 4) \times (100/65)^2 \times 379 \times 10^{-3} = 4,6 \text{ mGy}$$

L'ESPERTO IN FISICA MEDICA

Valutazione della dose all'utero per esami CT

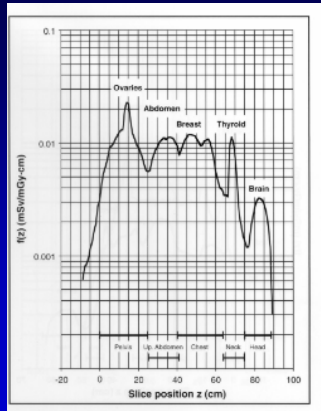
Valutazione della dose all'utero per esami CT (metodo di Zankl)

$$D_{organo} = 1/p \times CTDI_{air} \times K_{ct} \times \sum_z f(organo, z)$$

- $p = \text{pitch}$: *avanzamento del tavolo nel tempo della scansione* / *spessore di strato*
- $CTDI_{air}$ = *integrale del profilo di dose in aria sull'asse per un singolo strato diviso lo spessore dello strato (mGy)*
- K_{ct} = *fattore correttivo*
- $\sum_z f(organo, z)$ = *fattore di conversione tra la dose in aria e la dose ad un specifico organo sull'asse di rotazione per tutta la lunghezza (-z,+z) della scansione (mSv/mGy cm)*

Fattori di conversione f(z)

Fattori di conversione dosimetrica $mSv/mGy \cdot cm$ (aria-organo) calcolati su vari organi critici con metodi di simulazione Monte Carlo su fantocci antropomorfi per ogni posizione di z nella scansione



Fattori di conversione per la valutazione della dose all'utero (Zankl 91)

I fattori di conversione di Zankl sono stati calcolati nelle seguenti condizioni d'esposizione:

- Distanza fuoco-asse di rotazione tra 70 e 76 cm
- Filtrazione del fascio 9 mm Al
- Tensione di lavoro 125 kV

Distretto anatomico	Posizione dello strato cm	Fattore di conversione mSv/mGy cm
Lumbar vertebra 4	27 to 28	0.0028
	26 to 27	0.0034
	25 to 26	0.0042
	24 to 25	0.0051
Lumbar vertebra 5	23 to 24	0.0061
	22 to 23	0.0075
Sacrum	21 to 22	0.0095
	20 to 21	0.0112
	19 to 20	0.0138
	18 to 19	0.0169
	17 to 18	0.0206
	16 to 17	0.0259
	15 to 16	0.0320
	14 to 15	0.0560
	13 to 14	0.0916
	12 to 13	0.0886
11 to 12	0.0447	
Sacrum	10 to 11	0.0303
	9 to 10	0.0249
Coccyx	8 to 9	0.0199
	7 to 8	0.0196
	6 to 7	0.0135
	5 to 6	0.0113

Esempio: calcolo della dose all'utero per un esame CT dell'addome

Dati esame:

- ✓ Tensione 125 kV
- ✓ Corrente al tubo 200 mA
- ✓ Tempo di scansione 2 s
- ✓ Spessore di strato 10 mm
- ✓ Avanzamento tavolo 10 mm
- ✓ Numero di scansioni 41
- ✓ $CTDI_{air} = 0.12$ mGy/mAs

Calcolo:

$$CTDI_{air} = 0.12 \times 200 \times 2 = 48 \text{ mGy}$$

$$D_{org} = 1/p \times CTDI_{air} \times K_{ct} \times \sum_z f(org, z)$$

$$K_{ct} = 1 \quad P = 1 \quad \sum_{41} f(org, z) = 0.6 \text{ mSv/mGy}$$

$$D_{org} = 48 \times 0.6 = 28,8 \text{ mSv}$$

Conclusioni

In radiodiagnostica **difficilmente** si raggiungono valori di dose di 100 mSv

Gli effetti biologici radioindotti di tipo deterministico sono **molto rari**

Conclusioni

La probabilità degli **effetti biologici radioindotti di tipo stocastico** varia in funzione della dose ed è **inferiore al 1%**

per 1,1mSv è di 1 su 6.000 (*esame rx pelvi*)

per 25 mSv è di 1 su 267 (*esame CT pelvi*)

Conclusioni

Rischi nelle donne in stato di gravidanza **non esposte** a radiazioni ionizzanti

Aborto spontaneo	15%	(1 su 7)
Malformazioni congenite	6%	(1 su 16)
Ritardi mentali gravi	0,5%	(1 su 200)

Conclusioni

L'esposizione del feto ad indagini radiodiagnostiche molto raramente giustifica l'interruzione di gravidanza

Grazie per l'attenzione

