

Titolo articolo/ Article title:

La radiologia a misura di bambino: creazione di un protocollo ottimizzato per la radiografia del torace in un'ottica radioprotezionistica moderna

Children sized Radiology: formulating an optimized procedure for chest radiography in accordance with contemporary radioprotection measures

Autori / Authors: M. Giacomelli, R. Prosio

Pagine/Pages: 46-64, N.1, Vol.1 - 2017 (ISSN 2532-7925)

Submitted: 1 may 2017 – *Revised:* 3 may 2017 – *Accepted:* 25 may 2017 –

Published: 25 July 2017

Contatto autori / Corresponding author: Manuela GIACOMELLI,
giacomellimanuela@libero.it

JBP – periodico per le professioni biomediche a carattere tecnico - scientifico - professionale

Open Access journal – www.ojs.unito.it/index.php/jbp



Opera distribuita con Licenza Creative Commons.

Attribuzione – Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale.

Questa Rivista utilizza il [Font EasyReading®](http://FontEasyReading.com), carattere ad alta leggibilità, anche per i dislessici.

Direttore responsabile: Francesco Paolo SELLITTI

Direttore di redazione: Antonio ALEMANNI

Webmaster e ICT Admin: Simone URIETTI, Annamaria VERNONE

Comitato di redazione:

Editors: Antonio ALEMANNI, Mario CORIASCO,
Simone URIETTI, Sergio RABELLINO

Journal manager: Simone URIETTI, Annamaria VERNONE

Book manager: Francesco P. SELLITTI, Mario CORIASCO

Graphic Design Editor Francesco P. SELLITTI, Sergio RABELLINO,
Mario CORIASCO

Comitato scientifico:

Prof. Roberto ALBERA

Dott. Luciana GENNARI

Prof. Nello BALOSSINO

Prof. Caterina GUIOT

Dott. Alberto BALDO

Dott. Gianfranco GRIPPI

Prof. Paolo BENNA

Dott. Sergio MODONI

Prof. Mauro BERGUI

Dott. Grazia Anna NARDELLA

Prof. Gianni Boris BRADAC

Dott. Salvatore PIAZZA

Dott. Gianfranco BRUSADIN

Ing. Sergio RABELLINO

Prof. Alessandro CICOLIN

Dott. Irene VERNERO

Dott. Mario Gino CORIASCO

JBP – periodico per le professioni biomediche a carattere tecnico - scientifico - professionale

Open Access journal – www.ojs.unito.it/index.php/jbp



Opera distribuita con Licenza Creative Commons.

Attribuzione – Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale.

Questa Rivista utilizza il [Font EasyReading®](http://FontEasyReading.com), carattere ad alta leggibilità, anche per i dislessici.

La radiologia a misura di bambino: creazione di un protocollo ottimizzato per la radiografia del torace in un'ottica radioprotezionistica moderna

Children sized Radiology: formulating an optimized procedure for chest radiography in accordance with contemporary radioprotection measures

Manuela Giacomelli, Renato Prosio

A.O.U. Città della Salute e della Scienza di Torino - Dipartimento di Diagnostica per Immagini e Radioterapia, S.S.D. Radiologia Pediatrica, P.O. Ospedale Infantile Regina Margherita

Abstract

Obiettivo: creazione di un protocollo ottimizzato per la gestione della tecnica espositiva nella radiografia del torace in proiezione frontale dei pazienti di età compresa fra 0 e 5 anni.

Materiali e metodi: la grandezza fisica utilizzata per le verifiche dosimetriche è la *Entrance Skin Dose (ESD)*, ottenuta per ogni paziente attraverso metodi indiretti di calcolo.

Nella prima fase dello studio, per un'analisi più accurata delle criticità esistenti, sono stati raccolti i dati relativi all'esposizione di un *campione di controllo* di 131 pazienti di età compresa fra 0 e 5 anni. Dopo avere preso in considerazione diverse variabili legate al paziente, si è ipotizzata l'esistenza di una correlazione fra l'*Indice di esposizione relativa* del plate radiografico e il *peso* del bambino. Attraverso una seconda raccolta dati, su un campione di 41 bambini, si è proceduto alla verifica di tale ipotesi.

Sulla base dei risultati ottenuti si è giunti all'elaborazione di un protocollo di associazione dell'esposizione radiografica a specifiche fasce di peso. È seguita l'applicazione in vivo del protocollo creato su un *campione sperimentale* di 40 pazienti. Le necessarie valutazioni tecniche,



dosimetriche e di qualità delle immagini sono avvenute ponendo a confronto il *gruppo sperimentale*, esposto con il protocollo ottimizzato in base al peso, e il *gruppo di controllo*, esposto secondo routine. La valutazione di qualità delle immagini è stata effettuata in *doppio cieco* da due Medici Radiologi esperti in pediatria, facendo riferimento alle '*European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics*'.

Si è proceduto con l'analisi statistica di confronto dei risultati ottenuti utilizzando il *Mann-Whitney U Test* ($p < 0.01$) rispettivamente sulla *differenza fra le medie* per la dosimetria e sulle *medie di voto* per la qualità dell'immagine.

Risultati: il protocollo creato ha portato ad una riduzione della dose del 44% senza comportare alcuna differenza, in termini di qualità delle immagini, fra i due gruppi esaminati.

Conclusioni: con il presente studio si è sviluppato un modello scientifico che consente di gestire l'esposizione radiografica del distretto toracico sulla base di un dato oggettivo e facilmente reperibile: il *peso* del bambino. Oltre ad un notevole risparmio dosimetrico, questo ha portato ad una standardizzazione delle procedure, ad una maggiore riproducibilità e ripetibilità delle metodiche e ad un utilizzo più corretto e consapevole dei sistemi a disposizione, preservando, allo stesso tempo, la qualità necessaria per una diagnosi accurata.

Parole chiave

Indice di Esposizione relativa, Radioprotezione, Pediatrico.

English abstract

Objective: the aim of this study was to formulate an optimized radiological technique exposing children in their first 5 years of age to chest radiation.

Materials and methods: the physical quantity used for dosimetry was the *Entrance Skin Dose* (ESD), measured for each patient through indirect calculations. In the first phase of the study, data from the radiographic exposure of 131 children under 5 years old (*control group*) undergoing chest x-ray was collected. After taking into account different patient's variables, a connection between the *plate's Exposure Index* and the *weight* of the child was postulated. This hypothesis was then tested collecting data on a sample of 41 patients. A mathematical protocol was developed based on such data, linking a certain radiographic exposure to a corresponding weight range. Using this protocol, 40 examinations (*experimental group*) were performed. Technical, dosimetric and images' quality assessments were made by comparing the *experimental group* with the *control group*; the former being exposed according to the protocol, so on the basis of each patient's weight, the latter being exposed following the usual radiological routine.

The quality of the images produced was evaluated, following the double-blind method, by two Medical Radiologists specialized in pediatric imaging, referencing the '*European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics*'.

The *Mann-Whitney U Test* ($p < 0.01$) was finally used for comparative analysis of the two groups' results.

Results: the newly-devised protocol has led to a 44% reduction of dose. Despite such a reduction, no image quality difference was registered between the two groups studied.

Conclusions: the present study has developed a scientific model to manage pediatric radiation doses in chest radiography which is directly linked to an easily quantifiable datum: the weight of the patient. This has led to a considerable reduction in the dose of radiations to which patients are exposed to. It has also led to the standardization of the radiological procedure, allowing a greater reproducibility of the method and increasing the awareness of specialised practitioners with regards to children radiology while maintaining the required quality of results to achieve an accurate diagnosis.

Keywords

Exposure Index, Radiation safety, Pediatrics Introduzione.

Introduzione e scopo del lavoro

Il radiogramma del distretto toracico è da sempre uno strumento di estrema utilità per la valutazione non invasiva delle patologie intratoraciche del neonato e del bambino.

Ancora oggi rimane una delle procedure di imaging più frequenti, in tutte le fasce d'età: presso la nostra Struttura rappresenta mediamente il 30% di tutte le indagini radiologiche convenzionali eseguite in un anno.

Nonostante comporti l'erogazione di una dose relativamente bassa rispetto ad altri esami di diagnostica radiologica, l'elevata frequenza con cui viene eseguito determina un consistente contributo alla dose collettiva, soprattutto in ambito pediatrico. Si consideri, infatti, il drastico aumento del rischio di sviluppare un danno radioindotto al decrescere dell'età a cui avviene l'esposizione. Questo aspetto, reso ormai noto da numerosi studi, si configura come una delle principali criticità in radiologia pediatrica, dove alla necessità diagnostica si aggiungono evidenti necessità radioprotezionistiche.

A quanto detto si sommano, nelle moderne Radiologie, almeno altre due grosse problematiche, che rendono difficile il controllo della dose erogata sui piccoli pazienti: la problematica delle *taglie* e la problematica del *dose creep*, sequenziale all'introduzione dei sistemi digitali. La prima si riferisce all'esistenza in ambito pediatrico di un range veramente ampio in termini di dimensioni corporee e caratteristiche anatomiche, che porta a reali difficoltà di adeguamento della tecnica espositiva alle specifiche fasce d'età. La seconda si riferisce alla ormai non così recente introduzione dei sistemi digitali in Radiologia: le nuove tecnologie potrebbero potenzialmente portare a cospicue riduzioni di dose rispetto ai sistemi tradizionali, ma la loro introduzione è stata accompagnata da una serie di "mancanze" che hanno aumentato il rischio di andare incontro a

quella che, da diversi autori della recente letteratura, è stata definita *dose creep*, ossia un'esposizione eccessiva, non volontaria e non necessaria.

L'interesse a sviluppare questo lavoro deriva proprio dalla necessità di aggirare parzialmente le criticità citate.

In un'ottica di standardizzazione delle procedure, ci si è posti l'obiettivo di creare un protocollo che affronti proprio il problema dell'ampia gamma di taglie, di cui il distretto toracico è particolarmente rappresentativo. Ci si imbatte, infatti, in strutture anatomiche, età, gradi di accrescimento, pesi corporei, patologie e caratteristiche individuali, che aumentano a dismisura le differenze tra un paziente e l'altro, rendendo estremamente limitate le possibilità di esposizioni calibrate sul singolo.

Questi problemi sarebbero in gran parte evitabili utilizzando sistemi di *controllo automatico dell'esposizione (CAE)*: sulla base dell'attenuazione individuale, questi porterebbero alla modulazione dell'esposizione, bambino per bambino, fornendo un valido aiuto in termini di gestione della dose erogata. Tuttavia, il loro utilizzo è sconsigliabile nei pazienti molto piccoli, per chiare esigenze protezionistiche di esecuzione dell'esame in modalità '*fuori potter*'; inoltre, la maggior parte dei sistemi commercialmente disponibili ha camere a ionizzazione relativamente grandi e fisse, che, proprio per le loro dimensioni, verrebbero a trovarsi al di fuori dell'area anatomica di interesse radiografico.

Dover optare per tecniche manuali di selezione dei parametri espositivi, d'altro canto, implica necessariamente una certa soggettività procedurale, rendendo pressoché inevitabile la presenza di cospicue disomogeneità operative.

Prendendo in considerazione le fasce d'età maggiormente radiosensibili, questo studio auspica di arrivare ad una riduzione della dose erogata, senza compromettere la qualità delle immagini ottenute, uniformando, allo stesso tempo, tecnica e metodo. Si tratta di ottimizzare l'esposizione, ricercando il massimo dell'informazione diagnostica con la minor dose possibile, in ottemperanza ad uno dei principi più conosciuti nel mondo radiologico, spesso menzionato attraverso il noto acronimo '*ALARA*'.

Materiali e metodi

Lo studio è stato effettuato utilizzando apparecchi radiologici *General Electric* e sistemi CR *Regius* della *Konica Minolta*. I dati ricavati derivano dall'esposizione del distretto toracico di un totale di 212 bambini di età compresa fra 0 e 5 anni. Tutte le indagini sono state eseguite in proiezione frontale, '*fuori potter*', in *clinostasi supina*, utilizzando un *pool di imaging plate* selezionati[□].

Il lavoro si è articolato in più fasi successive, descritte di seguito.

[□] Si è scelto di utilizzare i plate migliori in termini di risposta, con prestazioni similari e assimilabili.

Fase 1: campione di controllo

Sono stati raccolti i dati relativi all'esposizione di un campione di controllo di 131 pazienti, di età compresa fra 0 e 5 anni, sottoposti a radiografia del torace in proiezione frontale. Per la registrazione dei dati si è utilizzata una forma standard che include i dati anagrafici del paziente, l'età, il peso, l'altezza, i parametri espositivi, la distanza fuoco-pelle e la distanza fuoco-plate.

Per un'analisi accurata delle reali criticità, gli esami sono stati effettuati secondo routine, senza alcun tipo di condizionamento degli operatori coinvolti.

Fase 2: ipotesi di correlazione fra IE e peso

La fase successiva del lavoro ha preso in considerazione il comportamento dell'Indice di Esposizione relativa del plate radiografico, S_{value} . Quest'ultimo è inversamente proporzionale alla dose che arriva al plate, secondo un andamento iperbolico teorico espresso dalla relazione:

$$S_{value} = \frac{1740}{K_{air}}$$

dove K_{air} indica la dose al plate in Gy, espressa in termini di Kerma in aria (IPEM Report n.32).

Per completezza si è voluto verificare tale andamento nella pratica: esponendo ripetutamente il fantoccio antropomorfo CIRS, modello 602 3D Torso Phantom, si è rilevata la dipendenza di S_{value} dai mAs selezionati. Si è ottenuto un andamento di tipo iperbolico, comparabile a quello teorico, che può essere genericamente espresso come segue:

$$S_{value} = \frac{K}{mAs}$$

con $K = \text{costante}$.

La determinazione dell'Indice di Esposizione relativa è dovuta a più fattori, alcuni estrinseci al paziente, quindi riconducibili ai sistemi, alle modalità e ai parametri utilizzati, altri intrinseci al paziente. Questi ultimi sono molteplici: il distretto in esame e il relativo spessore, le eventuali patologie in atto, i fattori genetici, il grado di inspirazione, l'età, il peso, lo spessore della gabbia toracica e altri; si tratta di tutte quelle caratteristiche individuali, variabili in un intervallo molto ampio, soprattutto in ambito pediatrico, che agiscono sull'attenuazione del fascio modificandola.

L'Indice di Esposizione S_{value} è, quindi, funzione di più variabili intrinseche. Questa fase del lavoro ha preso in considerazione alcune di queste ultime variabili, con l'intento di valutare se una di queste, singolarmente considerata, riuscisse, con buona approssimazione, a spiegare l'andamento dell'Indice di Esposizione per il distretto toracico.

Per evitare qualunque interferenza dei fattori estrinseci i sistemi utilizzati sono stati mantenuti fissi per ogni paziente: le indagini si sono svolte sempre con lo stesso *apparecchio radiologico*

e lo stesso *imaging plate*, ad una *distanza fuoco-plate* di 125 cm, utilizzando 65 kVp² e mAs differenziati per ogni paziente.

Con tali modalità sono stati raccolti dati relativi a 41 pazienti di età compresa fra 0 e 5 anni, con peso non superiore ai 23 Kg³.

Volendo verificare la dipendenza di Svalue esclusivamente dal peso si è proceduto alla normalizzazione dei mAs ad un valore fisso prescelto, pari a 2.5, quindi all'analisi retrospettiva dei dati.

È seguita la definizione della curva di regressione meglio adattabile all'andamento della distribuzione ottenuta.

Fase 3: creazione del protocollo

Il protocollo è stato ottenuto attraverso una serie di passaggi matematici che hanno guidato alla regolazione dell'esposizione in funzione del *peso* del bambino, secondo un range prescelto di valori di S_{value} ritenuti accettabili.

Si è partiti considerando la *funzione-tendenza* S_{value} -*peso*, con equazione (1):

$$S = 142.78 * p^{0.2573} \quad (1)$$

tale *funzione-tendenza* è stata ricavata considerando un valore di mAs fisso e costante, pari a 2.5; per questo si è proceduto alla normalizzazione della funzione per i mAs utilizzati. Essendo a conoscenza della relazione fra S_{value} e mAs, si è proceduto svincolando la funzione dal valore utilizzato per la creazione della curva. Si è così ottenuta la (2):

$$S = 142.78 * p^{0.2573} * \left(\frac{2.5}{mAs} \right) \quad (2)$$

La (2), valida per una tensione di picco pari a 65kV, mette in relazione tre diversi parametri, quali l' S_{value} , il peso del bambino e i mAs.

Scegliendo arbitrariamente le variabili S_{value} e mAs, la funzione permette di ottenere quel *peso* per cui l'utilizzo dei mAs desiderati determina l'*Indice di Esposizione* desiderato.

2 Questo studio ha scelto il kVp facendo riferimento a quanto contenuto nelle European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics, nell'ottica di un buon compromesso fra Linee Guida e ottimizzazione per la fascia d'età considerata.

3 Si precisa che il campione è stato raccolto in maniera casuale, ponendo come unici criteri di esclusione l'età e la presenza di dispositivi impiantati, quali pacemaker e cateteri, che avrebbero potuto alterare il calcolo dell'Svalue.

In questo studio si è optato per valori di S_{value} ⁴ e mAs che potessero essere compatibili con l'iniziale obiettivo di ottimizzazione.

Fase 4: campione sperimentale/applicazione in vivo del protocollo

Il protocollo è stato utilizzato, in via sperimentale, per l'esecuzione della radiografia del torace in proiezione frontale di 40 bambini di età compresa fra 0 e 5 anni, con peso non superiore ai 23 Kg.

Fase 5: Valutazioni dosimetriche

La grandezza dosimetrica calcolata nel presente studio è la ESD, ossia la dose assorbita al punto d'intersezione fra l'asse centrale del fascio e la superficie del paziente, includendo il contributo della radiazione retrodiffusa; Tale grandezza è stata ottenuta attraverso un metodo di calcolo indiretto, cioè a partire dalle misurazioni di rendimento del tubo radiogeno utilizzato e dai fattori espositivi impostati durante le indagini ⁵.

È stato così posto a confronto il *gruppo sperimentale* dei 40 pazienti esaminati con il protocollo neocreato, con il *gruppo di controllo* dei 131 pazienti esaminati secondo routine. In particolare, si è calcolata la *ESD media* dei due campioni e si è valutato se ci fosse una riduzione di dose statisticamente significativa nel gruppo sperimentale rispetto al gruppo di controllo.

Fase 6: Il giudizio di qualità sulle immagini

Il giudizio di qualità sulle immagini prodotte è stato espresso, in modalità *doppio cieco*, da due Medici Radiologi esperti in pediatria. È stata ad entrambi fornita una lista di 171 immagini da valutare, comprendente 131 immagini del gruppo di controllo e 40 immagini del gruppo sperimentale.

Per la valutazione si è utilizzato un *modulo-scheda* specifico, facendo riferimento alle indicazioni della *Commissione Europea* per il giudizio di qualità della radiografia del torace pediatrico.

⁴La casa costruttrice indica un range di Svalue più basso rispetto a quello scelto nel presente studio. La predilezione per valori di S più elevati va interpretata tenendo presente l'obiettivo di questo lavoro. È da considerarsi che i range forniti dalle case costruttrici sono stati spesso considerati fin troppo bassi e pertanto correlabili a dosi più elevate del necessario. Questo, oltre ad essere opinione comune fra le comunità scientifiche, è anche stato dimostrato da recenti studi sperimentali.

⁵ $ESD = K_{a,e} = K_{a,i} * BSF = Y(kV) * mAs * \left(\frac{100}{d_{fp}}\right)^2 * BSF$, dove $K_{a,e}$ indica l'entrance surface air kerma, comunemente nota come entrance skin dose, $K_{a,i}$ l'incident air kerma, BSF il fattore di retrodiffusione, qui considerato pari a 1.35, $Y(kV)$ il rendimento del tubo radiogeno utilizzato in funzione dei kVp impostati, mAs il prodotto corrente-tempo impostato, mentre $\left(\frac{100}{d_{fp}}\right)^2$ è il fattore di correzione, secondo la legge dell'inverso del quadrato della distanza, per la distanza fuocopelle utilizzata, rispetto alla distanza di 100 cm utilizzata per le misure di rendimento del tubo.

Tali indicazioni sono contenute nelle 'European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics'.

Si riporta di seguito un modello del modulo di valutazione utilizzato (Tabella 1).

ASPETTI DA VALUTARE	Criteri di attribuzione del punteggio			
	Non rilevabile (0 punti)	Rilevabile (1 punto)	Buona Rilevazione (2 punti)	Netta riproduzione (3 punti)
<i>Riproduzione del pattern vascolare nel polmone</i>				
<i>Riproduzione della trachea, dei bronchi prossimali, dei bordi del cuore e dell'aorta</i>				
<i>Riproduzione del diaframma e dei seni costofrenici</i>				
<i>Riproduzione del mediastino e delle vertebre toraciche</i>				
<i>Rumorosità/Granulosità</i>	Alta (0 punti)	Bassa (2 punti)		Assente (3 punti)
PUNTEGGIO TOTALE DELL'IMMAGINE (somma dei punteggi parziali)				

Tabella 1: modello del modulo utilizzato per la valutazione della qualità delle immagini. Mostra gli aspetti dell'immagine da sottoporre a valutazione e le modalità di attribuzione dei punteggi parziali, da sommarsi per la determinazione del punteggio totale per l'immagine esaminata. Il punteggio totale massimo attribuibile, corrispondente ad una qualità ineccepibile, è pari a 15, il punteggio minimo, corrispondente ad un'immagine assolutamente illeggibile, è pari a 0.

Si è poi proceduto valutando se ci fosse una differenza statisticamente significativa fra i punteggi medi attribuiti ai due campioni in esame.

Risultati

Fase 1: campione di controllo

Si è rilevata una sostanziale disomogeneità operativa, sicuramente dovuta alla soggettività delle scelte tecniche, oltre che un mancato adeguamento dei parametri espositivi a specifiche fasce d'età e peso. Parametri oggettivi, quali l'età e il peso del paziente, dovrebbero, invece, guidare la tecnica radiografica con lo scopo di uniformare il metodo, prescindendo da ogni posizione soggettiva.

Fase 2: ipotesi di correlazione fra IE e peso

La *funzione-tendenza* riportata è stata ottenuta quale miglior correlazione fra l'*Indice di Esposizione relativa* e il *peso* del bambino. È del tipo *potenza* e ha un *indice di determinazione* R^2 pari a 0.655 ($R^2=0,655$, CI 99% 0,37-0,83 per $p<0,01$).

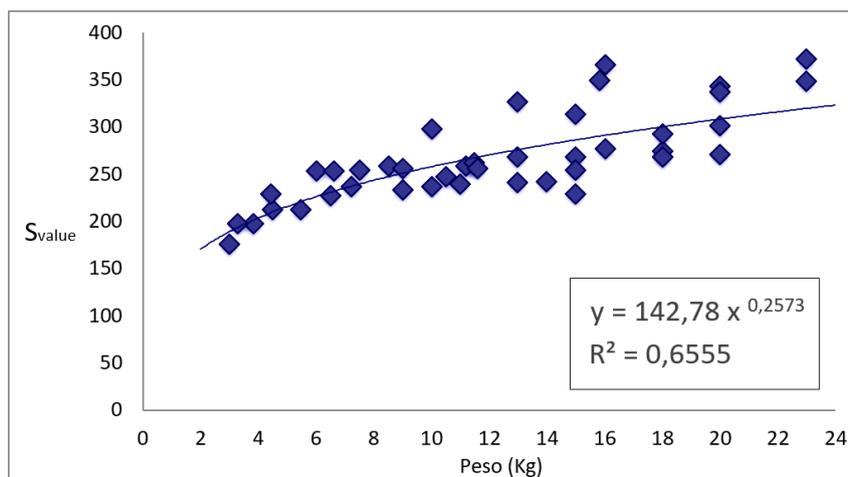


Grafico 1: mostra la funzione-tendenza *Svalue*-peso ottenuta. È del tipo *potenza*, con equazione e indice di determinazione R^2 riportati a grafico.

Si precisa che la correlazione fra S_{value} e altre *variabili*, come lo spessore della gabbia toracica e l'età, ha dato *indici di determinazione* decisamente inferiori rispetto al peso.

La curva di regressione con il miglior adattamento alla dispersione dei dati, anche per lo spessore e l'età, è risultato "a potenza".

Si riportano schematicamente di seguito (*Tabella 2*) i risultati più significativi dell'elaborazione statistica dei dati per le tre variabili considerate.

Si osservi come alla curva di regressione S_{value} -peso siano associati un *indice di determinazione* R^2 e un *coefficiente di correlazione* R nettamente superiori, ma anche un minore *errore standard*, rispetto alle curve di regressione ottenute considerando l'età e lo spessore.

S_{value} - peso	<i>Fitting</i>	<i>Campione</i>	<i>Indice di determinazione</i>	<i>Coeff. di correlazione</i>	<i>Errore Std</i>	ANOVA analisi delle varianze
	$y = A * x^B$ $A = 142.78$ $B = 0.2573$	$n = 41$	$R^2 = 0.6555$	$R = 0.8096$	$S_e = 0.1031$	$F_{test} = 74.1927$ $p_{value} = 0$
S_{value} - età	<i>Fitting</i>	<i>Campione</i>	<i>Indice di determinazione</i>	<i>Coeff. di correlazione</i>	<i>Errore Std</i>	ANOVA analisi delle varianze
	$y = A * x^B$ $A = 251.728$ $B = 0.0886$	$n = 41$	$R^2 = 0.4006$	$R = 0.6329$	$S_e = 0.1359$	$F_{test} = 26.069$ $p_{value} = 9 * 10^{-6}$
S_{value} - spessore	<i>Fitting</i>	<i>Campione</i>	<i>Indice di determinazione</i>	<i>Coeff. di correlazione</i>	<i>Errore Std</i>	ANOVA analisi delle varianze
	$y = A * x^B$ $A = 64.28$ $B = 0.5714$	$n = 41$	$R^2 = 0.2103$	$R = 0.4586$	$S_e = 0.1561$	$F_{test} = 10.3857$ $p_{value} = 0.0026$

Tabella 2: mostra per le tre curve potenza S_{value} -peso, S_{value} -età, S_{value} -spessore, rispettivamente l'indice di determinazione R^2 , il coefficiente di correlazione lineare R relativo alla curva linearizzata, il relativo errore standard stimato, i risultati dell'ANOVA Test per l'attendibilità del modello matematico considerato.

<i>Fascia di peso (Kg)</i>	<i>mAs</i>	<i>S_{value} (range teorico)</i>
< 1.3	0.64	480 - 600
1.3 - 3.2	0.80	480 - 600
3.2 - 7.5	1.00	480 - 600
7.5 - 18	1.25	480 - 600
18 - 23	1.60	480 - 600

Tabella 3: per ognuna delle fasce di peso riportate è possibile, scegliendo i mAs indicati, ottenere un S_{value} che oscilla all'incirca nel range teorico 480-600. La distanza fuoco-plate, il voltaggio e la modalità d'esposizione sono le stesse utilizzate per la creazione della funzione-tendenza, ossia rispettivamente 125 cm, 65 kVp, in modalità 'fuori potter'

Fase 3: creazione del protocollo

Si riportano i risultati ottenuti per 5 fasce di peso comprese fra 0 e 23 Kg (*Tabella 3*).

Fase 4: campione sperimentale/applicazione in vivo del protocollo

Dal punto di vista tecnico-pratico il protocollo è risultato facilmente applicabile e facilmente inseribile nella routine lavorativa. Il suo utilizzo non richiede tempistiche più lunghe per l'esame: è sufficiente accertare il peso del bambino e procedere alla selezione dei parametri sulla base del dato acquisito.

Dal punto di vista tecnico il riscontro è, pertanto, molto positivo: è stato creato un metodo semplice e pratico per gestire l'esposizione sulla base di un dato oggettivo e facilmente reperibile.

Fase 5: valutazioni dosimetriche

È risultata una riduzione media di dose del 44% (*Test Mann-Whitney U, $p < 0,01$*) nel gruppo sperimentale rispetto al gruppo di controllo. Vengono riportati di seguito alcuni dettagli relativi ai due campioni (*Tabella 4*).

	GRUPPO DI CONTROLLO	GRUPPO SPERIMENTALE
Numerosità campione [numero di pazienti]	$N_1 = 131$	$N_2 = 40$
Età [anni]	media ₁ : 2.76 [anni] dev. std ₁ : 1.54	media ₂ : 2.80 [anni] dev. std ₂ : 1.75
ESD (0-5 anni) [mGy]	ESD _{1, media} = 0.095 mGy ESD _{1, dev.std} = 0.036	ESD _{2, media} = 0.053 mGy ESD _{2, dev.std} = 0.0094
ESD (0-1 anni) [mGy] ESD (1-5 anni) [mGy]	0.065 mGy 0.100 mGy	0.041 mGy 0.057 mGy
% LDR (0-1 anni) % LDR (1-5 anni)	82% (LDR rif. 80 Gy) 100% (LDR rif. 100 Gy)	51% (LDR rif. 80 Gy) 57% (LDR rif. 100 Gy)

Tabella 4: riporta alcuni dettagli relativi al gruppo di controllo e al gruppo sperimentale, quali la numerosità campionaria, la media e la deviazione standard delle età dei rispettivi gruppi, la media e la deviazione standard delle ESD dei rispettivi gruppi, e il relativo rapporto, espresso in termini percentuali, con i Livelli Diagnostici di Riferimento (LDR del D.Lgs. 187/00)

Fase 6: Il giudizio di qualità sulle immagini

I punteggi medi attribuiti ai due campioni sono risultati rispettivamente 13.42 per il gruppo di controllo e 12.76 per il gruppo sperimentale; per valutare se tali punteggi di qualità, attribuiti ai due campioni, siano significativamente diversi si è applicato il *Mann-Whitney U Test per $p < 0.01$* sulla *differenza delle medie di voto*.

Si è rigettata l'ipotesi della differenza ad un livello di significatività del 99%.

Si precisa che alcune immagini sono state escluse dalla valutazione a causa della specificità della condizione clinico-patologica di alcuni dei pazienti esaminati.

	GRUPPO DI CONTROLLO	GRUPPO SPERIMENTALE
Numerosità del campione [numero punteggi attribuiti]	$N_1 = 243$	$N_2 = 75$
Media massimo, minimo deviazione standard	media ₁ : 13.42 max ₁ : 15; min ₁ : 4 dev.std ₁ : 1.98	media ₂ : 12.76 max ₂ : 15; min ₂ : 7 dev.std ₂ : 2.00

Tabella 5: riporta, rispettivamente per il gruppo di controllo e per il gruppo sperimentale, il numero delle immagini giudicate, il punteggio attribuito ai due gruppi in termini di massimo, minimo e media.

Discussione

L'Indice di Esposizione relativa

La strategia adottata nel presente studio può essere resa attraverso tre passaggi fondamentali, quali la *standardizzazione* e la *semplificazione* del metodo, l'utilizzo di *parametri tecnici* adeguati, la considerazione dell'*Indice di Esposizione* come uno degli strumenti chiave del processo globale di ottimizzazione. Essi sono fortemente interconnessi: non sarebbe infatti corretto utilizzare l'*Indice di Esposizione* come *tool* per la gestione della dose prescindendo dalla *standardizzazione* del metodo, così come non sarebbe possibile *ottimizzare* senza una scelta ad hoc dei parametri tecnici più idonei.

L'*Indice di Esposizione* rappresenta un feedback indiretto sulla tecnica radiografica utilizzata in termini di sottoesposizione o sovraesposizione del plate; di per sé, però, può non fornire alcuna informazione sulla dosimetria al paziente.

Di seguito si riporta una distribuzione (*Grafico 2*) ottenuta esponendo sperimentalmente il fantoccio *CIRS*, che mostra il comportamento dell' S_{value} a parità di dose in ingresso al fantoccio, utilizzando diversi binomi *kVp-mAs* per ogni esposizione.

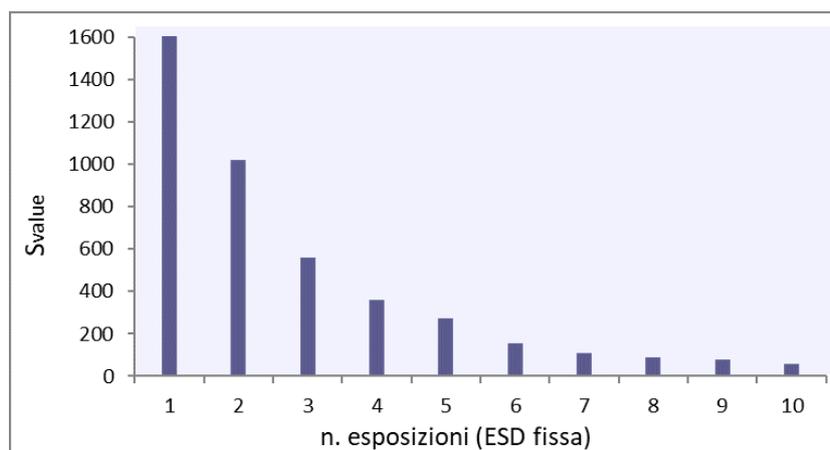


Grafico 2: mostra i valori dell' S_{value} per le varie esposizioni effettuate. A parità di ESD, S_{value} varia all'interno di un range piuttosto ampio: i valori più alti, quindi valori di dose al plate minori, si hanno per binomi kVp-mAs con elevati mAs, valori maggiori per binomi Kvp-mAs con alti kVp. Le dosi in ingresso ESD sono, però, con buona approssimazione, le stesse.

Come si può osservare, S_{value} può assumere valori molto diversi a seconda del tipo di fascio generato, a parità di dose in ingresso. Questo aspetto può condurre, inconsapevolmente, alla reiterazione di metodi di lavoro non completamente corretti, dove ad una giusta esposizione del plate radiografico può associarsi una sovraesposizione del paziente, aspetto particolarmente critico in pediatria.

Proprio per limitare le criticità legate all'utilizzo di fasci energeticamente diversi, fissato a priori un range teorico di variabilità dell'*Indice di Esposizione*, si è optato per un protocollo a kVp fisso, mediamente adeguato alla fascia d'età considerata, con valori di mAs ottimizzati in base al peso.

Questo metodo rende più semplice, esame dopo esame, l'utilizzo dell'*Indice di Esposizione* come "*surrogato per la gestione della dose*", garantisce esposizioni adeguate e produzioni iconografiche diagnostiche, migliora la riproducibilità del metodo svincolandolo dalle scelte personali.

La funzione-tendenza S_{value} -peso

Per la determinazione della *funzione-tendenza S_{value} -peso* questo studio ha acquisito un campione formato da bambini di varie età, vari pesi, varie patologie, varie caratteristiche individuali.

La bontà della correlazione ottenuta va analizzata facendo riferimento alla disomogeneità intrinseca dell'insieme dei dati, legata per lo più a fattori non eliminabili. Si riportano di seguito alcune considerazioni:

- la fascia d'età considerata nello studio, 0-5 anni, è quella caratterizzata, in assoluto, dalla maggiore variabilità interpaziente. Dal neonato prematuro al bambino di 5 anni si ha una notevole variazione dell'anatomia: si osservano differenze sostanziali in termini di sviluppo scheletrico, di ombra timica e mediastinica;

- la maggior parte delle indicazioni cliniche prevede che il distretto anatomico considerato venga esaminato in inspirazione. L'erogazione in inspirazione è strettamente dipendente dall'operatore: i bambini più piccoli sono incapaci a trattenere il respiro come conseguenza di un'indicazione esterna; un atto inspiratorio volontario e guidato è possibile solo con i bambini più grandi e collaboranti; diversi gradi di inspirazione, quindi una minore o una maggiore presenza di aria nei polmoni, produrranno una diversa attenuazione del fascio, quindi *Indici di Esposizione* diversi a parità di condizioni. A questo proposito si riportano due immagini dello stesso paziente, eseguite nella stessa giornata e nelle medesime condizioni espositive. Si noti la variazione dell' S_{value} in funzione del grado di inspirazione del bambino esaminato;
- ogni patologia ha caratteristiche specifiche, che impattano in diversa misura sull'attenuazione del fascio: i bambini con fibrosi cistica, ad esempio, attenueranno il fascio in misura diversa rispetto a bambini cardiopatici o con altri tipi di disturbi;
- di tutte le variabili in gioco è stato preso in considerazione esclusivamente il peso del bambino.

Nonostante la presenza di tutti i citati fattori, si è ottenuto un *indice di determinazione* R^2 pari a 0.655. Quest'ultimo esprime che la variabilità dell' S_{value} è, con buona approssimazione, spiegabile con la variabilità del peso del bambino. In altri termini, il *peso* spiegherebbe circa i 2/3 della fluttuazione statistica dei dati rilevati; il restante 1/3 sarebbe riconducibile a tutte le altre variabili in gioco, che, per semplicità, non sono state prese in esame. Sulla base di queste considerazioni il *peso* si configurerebbe come un buon *indicatore-guida* per la gestione dell'esposizione del distretto toracico in pediatria.

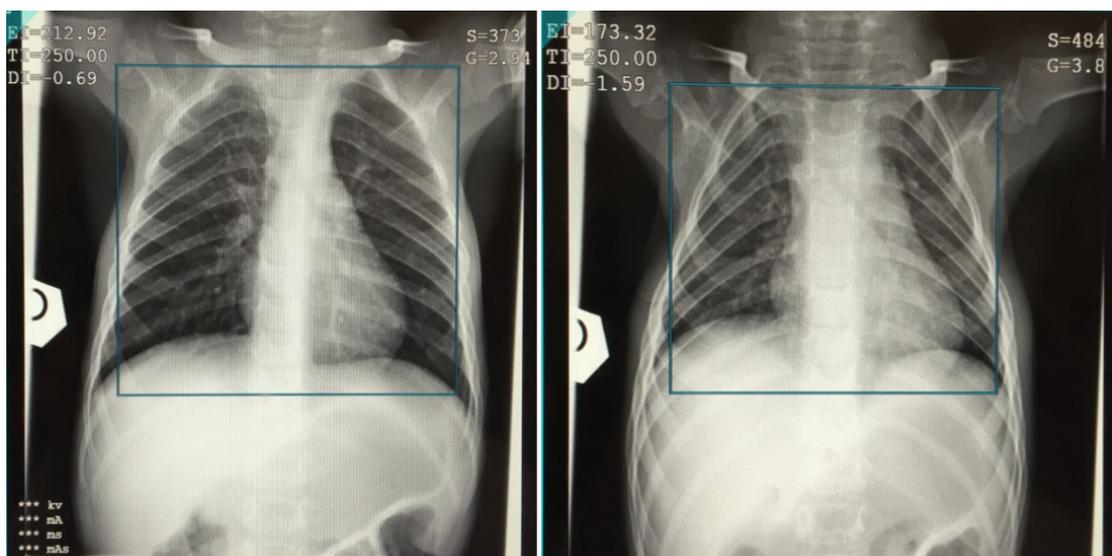


Figura 1: 2 radiogrammi del distretto toracico dello stesso paziente, ottenuti a parità di condizioni. L'immagine a sinistra, riferibile ad un maggior grado di inspirazione, riporta un S_{value} pari a 373; l'immagine a destra, invece, è riferibile ad un minor grado di inspirazione e riporta un S_{value} pari a 484. Le ROI utilizzate per il calcolo dell' S_{value} sono comparabili

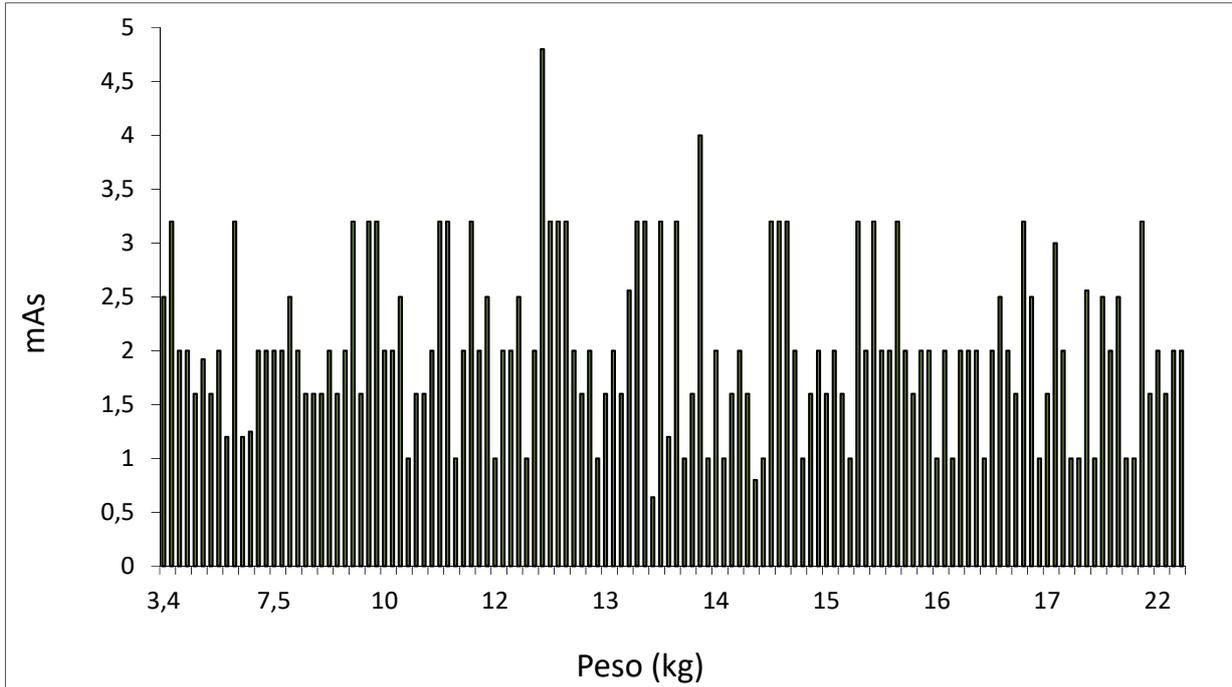


Grafico 3: distribuzione mAs-peso ottenuta dall'elaborazione dei dati relativi al campione di controllo. In mancanza di un protocollo-guida, si osserva una totale mancanza di correlazione della tecnica con il peso del bambino

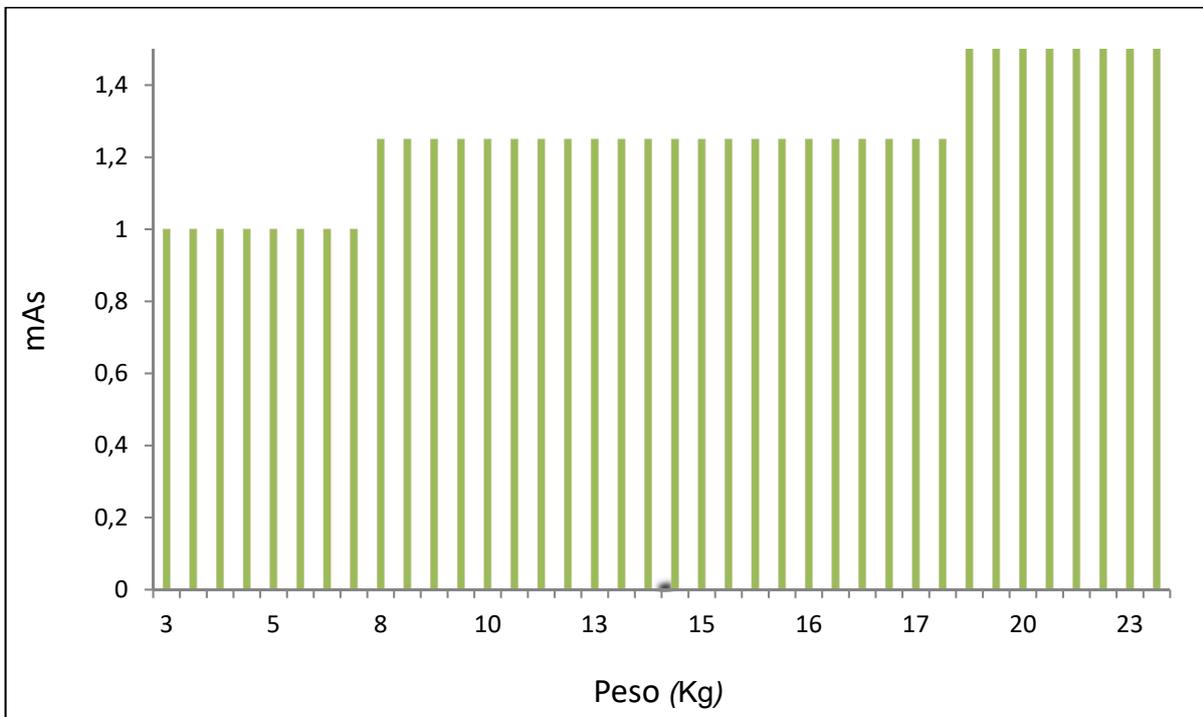


Grafico 4: distribuzione dei mAs in funzione del peso, ottenuta dall'applicazione in vivo del protocollo. All'aumentare del peso del paziente aumentano, per fasce, i mAs, come da protocollo

Il protocollo: un'ottica radioprotezionistica moderna

Il presente studio si configura come uno *step forward* in termini di gestione della dose in ambito pediatrico. L'esposizione non risulta così soltanto ottimizzata, ma anche calibrata, *'tailored'*, su ogni singolo paziente.

Le distribuzioni riportate di seguito, fornendo un confronto con la situazione precedente, rendono evidenti i progressi ottenuti da questo punto di vista.

Questo studio ha rilevato il *peso* come parametro cardine per gestire l'esposizione del distretto toracico. Non prescinde, però, dalla considerazione dell'*età* quale principale fattore di interesse protezionistico negli ultimi anni.

In un'ottica radioprotezionistica moderna, basata sulla più autorevole letteratura scientifica, si è elaborato un metodo che porta, indirettamente, a prendere in esame anche *l'età a cui avviene l'esposizione*: rilevandosi mediamente una quasi proporzionalità diretta fra *peso* ed *età* (di solito bambini più grandi hanno pesi mediamente superiori dei bambini più piccoli), la considerazione, in termini espliciti, del peso del bambino, ha reso implicita anche quella dell'*età*, fondamentale in ambito pediatrico.

Le distribuzioni riportate, ricavate dall'elaborazione dei dati relativi all'applicazione in vivo del protocollo, rendono evidenti gli aspetti enunciati.

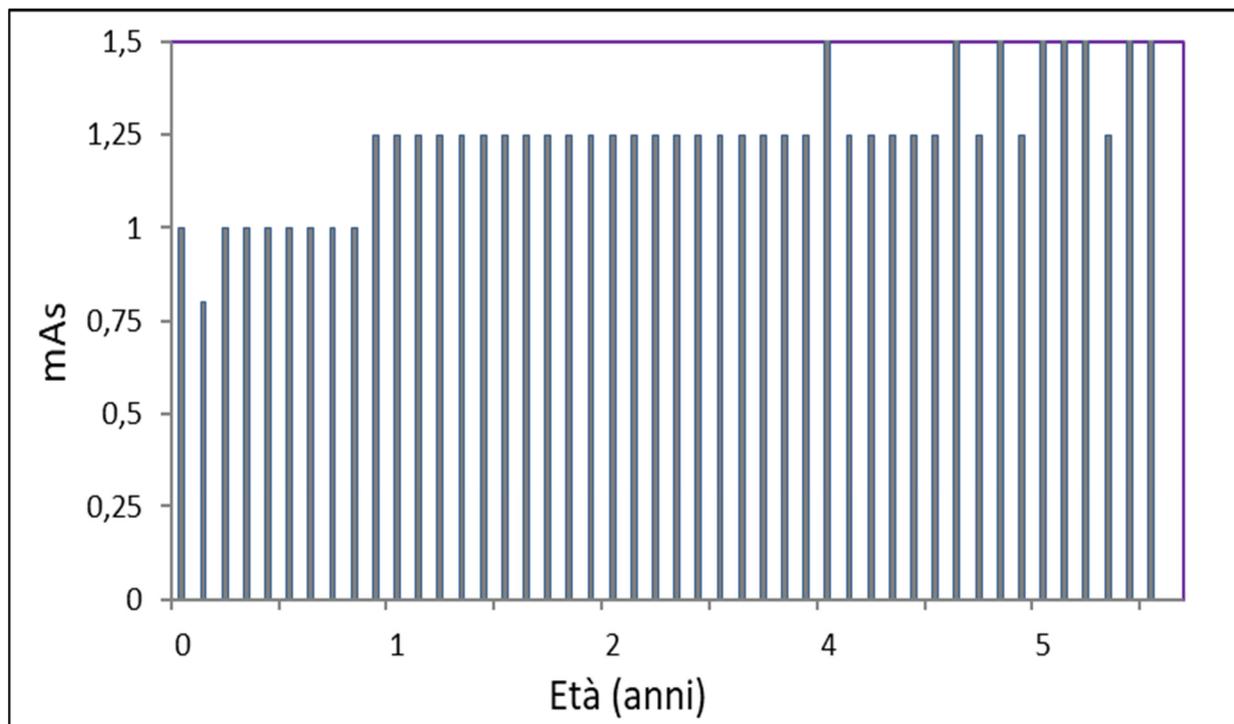


Grafico 5: distribuzione dei mAs in funzione dell'età, ottenuta dall'applicazione in vivo del protocollo. Gestendo l'esposizione sulla base del peso si rende implicita la considerazione dell'età: all'aumentare dell'età del paziente i mAs erogati aumentano per fasce

L'applicazione del protocollo ha, quindi, portato alla regolazione della *dose in ingresso* sulla base dell'età del bambino, quindi al raggiungimento di un importante obiettivo radioprotezionistico. Di seguito si riportano due distribuzioni della *ESD*, la prima ricavata dall'elaborazione dei dati relativi al campione di controllo esposto secondo routine, la seconda ottenuta dall'applicazione in vivo del protocollo ottimizzato.

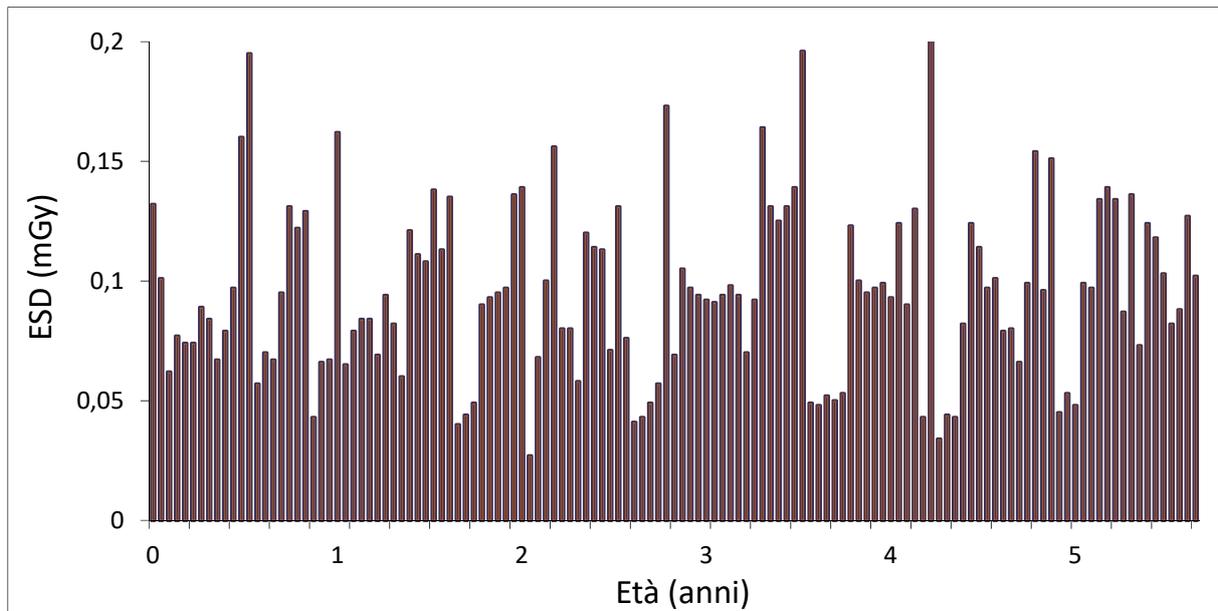


Grafico 6: In assenza di un comune metodo di lavoro la distribuzione della *ESD* non rileva alcuna tendenza in funzione dell'età

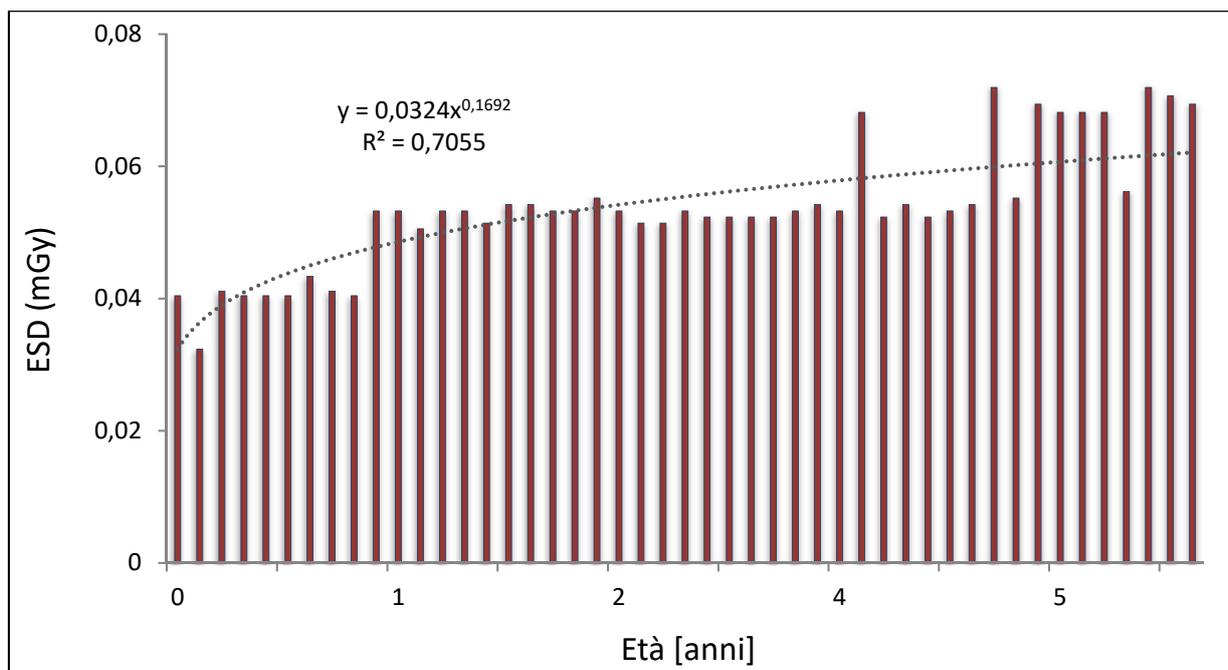


Grafico 7: distribuzione ricavata dall'applicazione in vivo del protocollo. Si osservi il trend crescente assunto dall'*ESD* all'aumentare dell'età del bambino

Conclusioni

Partendo dall'applicazione di un modello scientifico ad una pratica radiologica prima guidata da consuetudini, il presente studio ha creato un modello scientifico estensibile ad altre fasce d'età, ad altri distretti anatomici, nonché implementabile su altre apparecchiature radiologiche e sui più performanti sistemi *DR*.

Il fine è quello di lavorare, il più possibile, a *misura di bambino*, in modalità *children sized*: l'esposizione andrebbe prima pianificata e poi erogata, nel rispetto del bambino, della sua età e delle sue dimensioni.

"One size does not fit all"

by Image Gently.

Riferimenti bibliografici

1. American Society of Radiologic Technologists: Best practices in digital radiography. 2012. ASRT.
2. Castanon, P.G., Lopez, M.L., Bedoya, V.F., A dose index as a tool to estimate paediatric patient doses in digital projection radiography. 2012. *Radiation Protection Dosimetry*, 149, pp. 417-423
3. Commissione Europea: Linee guida per i livelli diagnostici di riferimento (LDR) nelle esposizioni a scopo medico. Protezione dalle radiazioni 109. 2000. Commissione Europea, pp. 5-11
4. Decreto Legislativo 26 maggio 2000 n. 187: Attuazione della direttiva 97/43/EURATOM in materia di protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connesse ad esposizioni mediche
5. Don, S., MacDougall R., Strauss, K., Moore, Q.T., Goske, M.J., Cohen, M., Herrmann, T., John, S.D., Noble L., Morrison, G., Lehman, L., Whiting, B.R., Image Gently Campaign Back to Basics Initiative: Ten Steps to Help Manage Radiation Dose in Pediatric Digital Radiation Dose in Pediatric Digital Radiography. 2013. *AJR*, 200, pp.W431-W436
6. Don, S., Radiosensitivity of children: potential for overexposure in CR and DR and magnitude of doses in ordinary radiographic examinations. 2004. *PediatricRadiology*, 34, pp.S167-S172
7. European Commission: European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics. 1996. EuropeanComission, Luxembourg
8. Fileri, L., Rischio radiologico, realtà e percezione. 2013. *TSRM for everyone*, 8, pp. 7-14
9. Frush, D.P., Donnelly, L.F., Chotas, H.G., Contemporary Pediatric Thoracic Imaging. 2000. *AJR*, 175, pp. 841-851
10. Hall, J.E., Radiation biology for pediatric radiologists. 2008. *Pediatric Radiology*, 39, pp. S57-S64
11. Hall, J.E., Lessons we have learned from our children: cancer risks from diagnostic radiology. 2002. *Pediatric Radiology*, 32, pp. 700-706
12. IAEA: Radiation Protection in Paediatric Radiology. 2012. *Safety Reports Series*, 71, pp. 1-33, 79-85
13. Image gently website: <http://www.imagegently.org/>
14. Institute of Physics and Engineering in Medicine: Measurement of the Performance Characteristics of Diagnostic X-Ray System: Digital Imaging Systems. 2010. *IPEM Report*, 32 part VII, pp. 28-35
15. Khong, P.L., Ringerts, H., Donoghue, V., Frush, D., Rehani, M., Appelgate, K., Sanchez, R., Radiological Protection in Paediatric Diagnostic and Interventional Radiology (ICRP Publication 121). In Chief C.H. Clement (ed.), *Annals of the ICRP* 42(2). 2013. Amsterdam: Elsevier, pp. 5-37
16. Peters, S. E., Brennan, P.C., Digital radiography: are the manufacturers' settings too high? Optimisation of the Kodak digital radiography system with aid of the computed radiography dose index. 2002. *Eur. Radiol.*, 12, pp. 2381-2387
17. Rosemary, A., Interpretation of the paediatric chest x ray. 2003. *CurrentPaediatrics*, 13, pp. 438-447
18. Seibert, J.A., Morin, R.L., The standardized exposure index for digital radiography: an opportunity for optimization of radiation dose to the pediatric population. 2011. *PediatricRadiology*, 41, pp.573-581
19. Soboleski, D., Theriault, C., Acker, A., Dagnone, V., Manson, D., Unnecessary irradiation to non-thoracic structures during pediatric chest radiography. 2006. *PediatricRadiology*, 36, pp. 22-25
20. Willis, C.E., Optimizing digital radiography of children. 2009. *European Journal of Radiology*, 72, pp. 266-273
21. Zoetelief, J., Dance D.R., Drexler, G., Jarvinen, H., Patient Dosimetry for X-Rays used in Medical Imaging (ICRU Report 74). 2005. *Journal of the ICRU Vol. 5* Oxford University Press