

*a cura di*  
Davide Caramella  
Fabio Paolicchi  
Lorenzo Faggioni

# La dose al paziente in diagnostica per immagini



*Presentazione a cura di*  
Carlo Bartolozzi

 Springer

*Imaging & formazione*

## La dose al paziente in diagnostica per immagini

Davide Caramella • Fabio Paolicchi • Lorenzo Faggioni  
(a cura di)

# La dose al paziente in diagnostica per immagini

*Presentazione a cura di*  
Carlo Bartolozzi

a cura di  
**Davide Caramella**  
Radiologia Diagnostica e Interventistica  
Università di Pisa

**Fabio Paolicchi**  
Radiologia Diagnostica e Interventistica  
Università di Pisa

**Lorenzo Faggioni**  
Radiologia Diagnostica e Interventistica  
Università di Pisa

ISSN 2239-2017

ISBN 978-88-470-2648-3

ISBN 978-88-470-2649-0 (eBook)

DOI 10.1007/978-88-470-2649-0

© Springer-Verlag Italia 2012

Quest'opera è protetta dalla legge sul diritto d'autore e la sua riproduzione anche parziale è ammessa esclusivamente nei limiti della stessa. Tutti i diritti, in particolare i diritti di traduzione, ristampa, riutilizzo di illustrazioni, recitazione, trasmissione radiotelevisiva, riproduzione su microfilm o altri supporti, inclusione in database o software, adattamento elettronico, o con altri mezzi oggi conosciuti o sviluppati in futuro, rimangono riservati. Sono esclusi brevi stralci utilizzati a fini didattici e materiale fornito ad uso esclusivo dell'acquirente dell'opera per utilizzazione su computer. I permessi di riproduzione devono essere autorizzati da Springer e possono essere richiesti attraverso RightsLink (Copyright Clearance Center). La violazione delle norme comporta le sanzioni previste dalla legge.

Le fotocopie per uso personale possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dalla legge, mentre quelle per finalità di carattere professionale, economico o commerciale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARedi, Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali, e-mail [autorizzazioni@clearedi.org](mailto:autorizzazioni@clearedi.org) e sito web [www.clearedi.org](http://www.clearedi.org).

L'utilizzo in questa pubblicazione di denominazioni generiche, nomi commerciali, marchi registrati, ecc. anche se non specificatamente identificati, non implica che tali denominazioni o marchi non siano protetti dalle relative leggi e regolamenti.

Le informazioni contenute nel libro sono da ritenersi veritiere ed esatte al momento della pubblicazione; tuttavia gli autori, i curatori e l'editore declinano ogni responsabilità legale per qualsiasi involontario errore od omissione. L'editore non può quindi fornire alcuna garanzia circa i contenuti dell'opera.

9 8 7 6 5 4 3 2 1

2012 2013 2014 2015

*Layout copertina:* Ikona S.r.l., Milano

Impaginazione: Graphostudio, Milano

Stampa: Printer Trento S.r.l., Trento

*Stampato in Italia*

Springer-Verlag Italia S.r.l., Via Decembrio 28, I-20137 Milano  
Springer fa parte di Springer Science+Business Media ([www.springer.com](http://www.springer.com))

# Presentazione

È per me motivo di soddisfazione il presentare questo volume che, a mio parere, giunge a colmare un vuoto nell'offerta editoriale in ambito radiologico. Infatti questo prodotto compendia in modo efficace gli aspetti biologici, fisici e tecnologici che riguardano la dose radiante in radiologia diagnostica. Gli argomenti sono trattati in modo completo, con un efficace approccio didattico che ne facilita la comprensione e ne favorisce la memorizzazione.

Il libro è idealmente destinato ai Tecnici di Radiologia, che hanno una parte importante di responsabilità nel contenere ai livelli più bassi possibile l'esposizione al paziente, allo stesso tempo salvaguardando la qualità di immagine. Potrà essere al tempo stesso di grande aiuto anche per Radiologi e Specializzandi in Radiologia che desiderano rinfrescare le nozioni acquisite in tema di dose, anche alla luce dei progressi tecnologici in atto, nonché, naturalmente, per tutti i Medici desiderosi di approfondire le problematiche relative alla radioprotezione del paziente.

Mi fa particolarmente piacere sottolineare come questa sia un'opera "corale", frutto dell'ambiente interdisciplinare pisano, a riprova della tradizionale collaborazione tra Università, Ospedale e CNR.

Sono sicuro che i lettori potranno trarre dalla lettura di questo libro un utile orientamento per l'ottimizzazione delle procedure radiologiche, secondo il principio ALARA a garanzia dei nostri pazienti.

Aprile 2012

Carlo Bartolozzi  
Radiologia Diagnostica e Interventistica  
Università di Pisa  
Pisa

# Indice

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>La dose radiante e l'appropriatezza dell'imaging</b> .....           | <b>1</b>  |
|          | Fabio Paolicchi, Lorenzo Faggioni, Davide Caramella                     |           |
| 1.1      | Introduzione .....  | 1         |
| 1.2      | Il rischio dell'inappropriatezza diagnostica .....                      | 3         |
| 1.3      | L'inconsapevolezza dell'imaging e la comunicazione del rischio .....    | 5         |
| 1.4      | Le dosi delle metodiche di imaging diagnostico .....                    | 7         |
|          | Bibliografia .....  | 11        |
| <b>2</b> | <b>Effetti della radiazioni alle basse dosi</b> .....                   | <b>13</b> |
|          | Maria Grazia Andreassi  |           |
| 2.1      | Introduzione .....  | 13        |
| 2.2      | Interazioni radiazioni-DNA .....  | 14        |
| 2.3      | Danno biologico da radiazioni ionizzanti .....                          | 16        |
| 2.4      | Effetti clinici delle radiazioni ionizzanti .....                       | 21        |
| 2.5      | Biomarcatori dell'esposizione diagnostica a radiazione ionizzante ..... | 22        |
| 2.6      | Conclusioni .....   | 24        |
|          | Bibliografia .....  | 25        |
| <b>3</b> | <b>Unità di misura e metodi di calcolo della dose</b> .....             | <b>29</b> |
|          | Marco Bonelli   |           |
| 3.1      | Introduzione .....  | 29        |
| 3.2      | Radiazioni ionizzanti .....   | 30        |
| 3.2.1    | Radiazioni indirettamente ionizzanti .....                              | 30        |
| 3.2.2    | Radiazioni direttamente ionizzanti .....                                | 31        |
| 3.2.3    | Trasferimento lineare di energia .....                                  | 32        |
| 3.3      | Radioattività .....   | 33        |
| 3.3.1    | Decadimenti radioattivi .....   | 33        |
| 3.3.2    | Attività .....  | 33        |
| 3.3.3    | Tempo di dimezzamento effettivo e attività accumulata .....             | 34        |
| 3.4      | Dose assorbita e rateo di dose .....                                    | 35        |
| 3.4.1    | Premessa .....  | 35        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.4.2    | Definizione   | 35        |
| 3.4.3    | Applicazioni della dose assorbita                                 | 36        |
| 3.4.4    | Rateo di dose   | 36        |
| 3.5      | Dose equivalente e fattori di ponderazione per la radiazione      | 37        |
| 3.5.1    | Definizione   | 37        |
| 3.5.2    | Applicazioni della dose equivalente                               | 38        |
| 3.6      | Dose efficace e fattori di ponderazione per il tessuto            | 39        |
| 3.6.1    | Definizione   | 39        |
| 3.6.2    | Applicazioni della dose efficace                                  | 40        |
| 3.7      | Dose equivalente impegnata  | 40        |
| 3.8      | Dose efficace impegnata   | 41        |
| 3.9      | Kerma e grandezze dosimetriche operative                          | 41        |
| 3.9.1    | Kerma   | 41        |
| 3.9.2    | Equivalente di dose   | 42        |
| 3.10     | Descrittori di dose in radiografia convenzionale e radioscopia    | 43        |
| 3.10.1   | Dose incidente  | 43        |
| 3.10.2   | Dose di ingresso  | 44        |
| 3.10.3   | Dose alla cute  | 44        |
| 3.10.4   | Prodotto dose-area  | 44        |
| 3.11     | Calcolo della dose in radiografia convenzionale e radioscopia     | 45        |
| 3.11.1   | Valutazione della dose equivalente                                | 45        |
| 3.11.2   | Esempio: valutazione della dose equivalente all'utero             | 46        |
| 3.11.3   | Valutazione della dose efficace                                   | 47        |
| 3.12     | Descrittori di dose in tomografia computerizzata                  | 49        |
| 3.12.1   | Introduzione  | 49        |
| 3.12.2   | CTDI  | 50        |
| 3.12.3   | CTDI <sub>w</sub>   | 53        |
| 3.12.4   | CTDI <sub>vol</sub>   | 53        |
| 3.12.5   | Prodotto dose-lunghezza, DLP                                      | 54        |
| 3.12.6   | Norme di sicurezza, LDR   | 54        |
| 3.13     | Calcolo della dose in tomografia computerizzata                   | 54        |
| 3.13.1   | Valutazione della dose efficace                                   | 54        |
| 3.13.2   | Valutazione della dose equivalente                                | 55        |
|          | Bibliografia  | 56        |
| <b>4</b> | <b>La dose in tomografia computerizzata</b>                       | <b>57</b> |
|          | Lorenzo Faggioni, Fabio Paolicchi, Emanuele Neri                  |           |
| 4.1      | Introduzione  | 57        |
| 4.2      | Oltre i limiti della radiografia convenzionale: la TC sequenziale | 58        |
| 4.3      | Dalla TC convenzionale alla TC spirale multistrato                | 60        |
| 4.4      | Applicazioni avanzate della TCMS                                  | 68        |
| 4.4.1    | La TC cardiaca  | 68        |
| 4.4.2    | Dall'anatomia alla funzione: la TC perfusionale                   | 70        |
|          | Bibliografia  | 72        |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>5</b> | <b>Dispositivi e protocolli per la riduzione della dose in tomografia computerizzata</b> .....   | 75  |
|          | Fabio Paolicchi, Jacopo Negri, Lorenzo Faggioni  |     |
| 5.1      | Introduzione .....   | 75  |
| 5.2      | I dispositivi di modulazione automatica della corrente .....                                     | 76  |
| 5.3      | Filtri conformazionali .....   | 78  |
| 5.4      | Regolazione della tensione del tubo .....  | 79  |
| 5.5      | Collimatori asimmetrici .....  | 81  |
| 5.6      | Schermatura del paziente: camici di piombo e filtri in bismuto .....                             | 82  |
| 5.7      | Nuovi algoritmi per la ricostruzione delle immagini .....  | 84  |
| 5.8      | Limitazione della lunghezza e del numero di acquisizioni eseguite .....                          | 85  |
| 5.9      | Software per il controllo della dose erogata .....   | 87  |
|          | Bibliografia .....   | 88  |
| <br>     |  |     |
| <b>6</b> | <b>La gestione della dose in radiologia interventistica</b> .....                                | 91  |
|          | Annalisa Trianni, Anna Negri, Irene Bargellini   |     |
| 6.1      | Introduzione .....   | 91  |
| 6.2      | Il rischio associato alle procedure di radiologia interventistica .....                          | 92  |
| 6.2.1    | Gli effetti stocastici .....   | 93  |
| 6.2.2    | Gli effetti deterministici .....   | 94  |
| 6.3      | Il monitoraggio della dose .....   | 97  |
| 6.4      | Fattori che influenzano la dose assorbita dal paziente .....                                     | 99  |
| 6.4.1    | Fattori dipendenti dall'apparecchiatura .....  | 99  |
| 6.4.2    | Fattori relativi alla procedura .....  | 102 |
| 6.5      | Gestione del rischio dei danni da radiazione .....   | 105 |
| 6.5.1    | Prima della procedura .....  | 105 |
| 6.5.2    | Durante la procedura .....   | 108 |
| 6.5.3    | Dopo la procedura .....  | 109 |
|          | Bibliografia .....   | 110 |
| <br>     |  |     |
| <b>7</b> | <b>La gestione della dose in cardiologia</b> .....   | 113 |
|          | Paolo Marraccini, Massimiliano Bianchi, Lorenzo Faggioni, Alessandro Mazzarisi, Giuseppe Coppini |     |
| 7.1      | Introduzione .....   | 113 |
| 7.2      | La misura della dose .....   | 114 |
| 7.2.1    | Qualità delle immagini e la dose di riferimento .....  | 114 |
| 7.3      | La dose in cardiologia interventistica .....   | 115 |
| 7.3.1    | Strategie per ridurre la dose .....  | 116 |
| 7.3.2    | Sistemi di protezione degli operatori .....  | 118 |
| 7.4      | La dose in cardio-TC .....   | 119 |
| 7.4.1    | Strategie per la riduzione della dose in TC cardiaca .....                                       | 121 |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 7.5       | La dose in cardiologia nucleare .....  | 124        |
|           | Bibliografia .....   | 124        |
| <b>8</b>  | <b>La gestione della dose in medicina nucleare .....</b>                         | <b>127</b> |
|           | Ducio Volterrani, Federica Guidoccio   |            |
| 8.1       | Radiofarmaci e dose .....  | 127        |
| 8.2       | Dosimetria interna .....   | 128        |
| 8.3       | Limitare la dose al paziente in medicina nucleare .....                          | 132        |
| 8.3.1     | Scelta del radiofarmaco .....  | 132        |
| 8.3.2     | Ottimizzazione della dose .....  | 134        |
| 8.4       | La problematica delle apparecchiature ibride .....                               | 137        |
|           | Bibliografia .....   | 138        |
| <b>9</b>  | <b>Strumenti informatici per la comunicazione del rischio .....</b>              | <b>141</b> |
|           | Marco Paterni  |            |
| 9.1       | Introduzione .....   | 141        |
| 9.2       | La comunicazione del rischio .....   | 142        |
| 9.3       | Lo strumento informatico .....   | 142        |
| 9.4       | Disponibilità di tutorial .....  | 143        |
| 9.5       | Formati multipli e personalizzati .....  | 143        |
| 9.6       | Valutazione personalizzata del rischio .....                                     | 145        |
| 9.7       | Aggiornamento automatico delle evidenze .....                                    | 145        |
| 9.8       | Assistenza alla decisione .....  | 145        |
| 9.9       | Un esempio: RadioRisk .....  | 146        |
|           | Bibliografia .....   | 148        |
| <b>10</b> | <b>I mass media e la comunicazione del rischio radiologico .....</b>             | <b>149</b> |
|           | Giuliano Kraft   |            |
| 10.1      | Cartelloni pubblicitari .....  | 150        |
| 10.2      | Radio .....  | 151        |
| 10.3      | Internet .....   | 152        |
| 10.4      | Quotidiani e riviste .....   | 154        |
| 10.5      | Cinema .....   | 155        |
| 10.6      | Televisione .....  | 156        |
|           | Letture consigliate .....  | 157        |
| <b>11</b> | <b>La gestione dell'informazione dosimetrica: gli standard tecnologici .....</b> | <b>159</b> |
|           | Francisco Sureda, Annalisa Trianni, Anna Negri                                   |            |
| 11.1      | Introduzione .....   | 159        |
| 11.2      | Standard DICOM per la raccolta e lo scambio delle informazioni dosimetriche      | 160        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 11.2.1    | DICOM <i>Image Headers</i> .....   | 160        |
| 11.2.2    | DICOM <i>Modality Performed Procedure Step (MPPS)</i> .....  | 161        |
| 11.2.3    | DICOM <i>Radiation Dose Structured Report (RDSR)</i> .....   | 162        |
| 11.3      | Il profilo REM ( <i>Radiation Exposure Monitoring</i> ) IHE .....  | 164        |
| 11.3.1    | Attori .....   | 165        |
| 11.3.2    | Workflow .....   | 166        |
| 11.3.3    | Limiti .....   | 166        |
| 11.3.4    | Utilizzo .....   | 167        |
| 11.3.5    | Applicazione .....   | 167        |
| 11.4      | PAS IEC 61910-1 .....  | 167        |
|           | Bibliografia .....   | 168        |
| <b>12</b> | <b>Il decreto 187/2000: basi di teoria per migliorare la pratica</b> .....                                 | <b>169</b> |
|           | Michele Fruzzetti, Fabio Paolicchi, Lorenzo Faggioni   |            |
| 12.1      | La normativa: il principio di giustificazione e ottimizzazione .....                                       | 169        |
| 12.2      | Il principio di giustificazione nella norma .....  | 170        |
| 12.3      | Il principio di giustificazione nella pratica .....  | 171        |
| 12.4      | Il principio di ottimizzazione nella norma .....   | 174        |
| 12.5      | Il principio di ottimizzazione nella pratica .....   | 175        |
| 12.6      | Il pericolo della sovraesposizione .....   | 176        |
|           | Bibliografia .....   | 179        |
| <b>13</b> | <b>Aspetti medico-legali in radiodiagnostica: profili di responsabilità, informazione e consenso</b> ..... | <b>181</b> |
|           | Giuseppina Terranova, Francesco Schillirò  |            |
| 13.1      | Le responsabilità del professionista sanitario .....   | 181        |
| 13.2      | Obiettivi .....  | 182        |
| 13.3      | Responsabilità penale e civile .....   | 183        |
| 13.4      | Fonti di responsabilità nel setting radiologico .....  | 183        |
| 13.4.1    | Nella fase di preparazione .....   | 184        |
| 13.4.2    | Nella fase di esecuzione ed elaborazione delle immagini .....  | 185        |
| 13.4.3    | Nella fase di lettura .....  | 185        |
| 13.4.4    | Nella fase di refertazione e comunicazione dei risultati .....   | 186        |
| 13.4.5    | Fattori contribuenti .....   | 186        |
| 13.5      | Responsabilità per violazione dei principi della radioprotezione .....                                     | 187        |
| 13.5.1    | Giustificazione .....  | 188        |
| 13.5.2    | Ottimizzazione e limitazione delle dosi individuali .....  | 188        |
| 13.5.3    | Responsabilità delle figure professionali esterne al setting radiologico .....                             | 190        |
| 13.6      | Risvolti medico-legali dell'inappropriatezza: uno sguardo nel vaso di Pandora .....                        | 190        |
| 13.7      | Gestione delle risorse e responsabilità erariale .....   | 191        |
| 13.8      | Responsabilità disciplinare .....  | 192        |
| 13.9      | Informazione e consenso .....  | 193        |

---

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 13.9.1  | La comunicazione dei rischi .....   | 194 |
| 13.10   | Responsabilità per omessa o incompleta informazione sui rischi connessi<br>con le radiazioni ionizzanti .....   | 195 |
| 13.11   | Strategie di governo clinico per coniugare qualità, appropriatezza e sicurezza<br>nell'utilizzo dell'imaging radiologico e prevenire il contenzioso ..... | 196 |
| 13.11.1 | Formazione .....  | 196 |
| 13.11.2 | Implementazione di linee guida e buone pratiche .....   | 197 |
| 13.11.3 | <i>L'audit</i> clinico: uno strumento per verificare appropriatezza e rispetto<br>dei principi della radioprotezione .....                                | 197 |
| 13.11.4 | Registrazione delle esposizioni: la cartella radiologica .....  | 198 |
| 13.11.5 | Informazione sui rischi: possibili strategie per uscire<br>dall'inferno comunicativo .....  | 198 |
|         | Bibliografia .....  | 199 |

# Elenco degli Autori

**Maria Grazia Andreassi**

Istituto di Fisiologia Clinica  
CNR Pisa

**Irene Bargellini**

Radiologia Diagnostica e Interventistica  
Università di Pisa

**Massimiliano Bianchi**

UO Medicina Generale IV  
Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana

**Marco Bonelli**

Servizio di Fisica Sanitaria  
Azienda Sanitaria della Provincia di Bolzano

**Davide Caramella**

Radiologia Diagnostica e Interventistica  
Università di Pisa

**Giuseppe Coppini**

Istituto di Fisiologia Clinica  
CNR Pisa

**Lorenzo Faggioni**

Radiologia Diagnostica e Interventistica  
Università di Pisa

**Michele Fruzzetti**

UO Radiologia  
ASL 2 Lucca

**Federica Guidoccio**

Centro Regionale di Medicina Nucleare  
Università di Pisa

**Giuliano Kraft**

Istituto di Informatica e Telematica  
CNR Pisa

**Paolo Marraccini**

Istituto di Fisiologia Clinica  
CNR Pisa

**Alessandro Mazzarisi**

Istituto di Fisiologia Clinica  
CNR Pisa

**Anna Negri**

SOC Fisica Sanitaria  
AOU “S. Maria della Misericordia” Udine

**Jacopo Negri**

Dipartimento di Radiologia  
Ospedale di Macerata

**Emanuele Neri**

Radiologia Diagnostica e Interventistica  
Università di Pisa

**Fabio Paolicchi**

Radiologia Diagnostica e Interventistica  
Università di Pisa

**Marco Paterni**

Istituto di Fisiologia Clinica  
CNR Pisa

**Francesco Schillirò**

Dipartimento Medico-Chirurgico  
Magrassi-Lanzara  
II Università di Napoli

**Francisco Sureda**

X-Ray Interventional Engineering  
GE Healthcare Technologies  
Buc, Francia

**Giuseppina Terranova**

UO Medicina Legale  
USL 5 Pisa

**Annalisa Trianni**

SOC Fisica Sanitaria  
AOU “S. Maria della Misericordia” Udine

**Duccio Volterrani**

Centro Regionale di Medicina Nucleare  
Università di Pisa

# La dose radiante e l'appropriatezza dell'imaging

# 1

F. Paolicchi, L. Faggioni, D. Caramella

## Indice dei contenuti

- 1.1 Introduzione
  - 1.2 Il rischio dell'inappropriatezza diagnostica
  - 1.3 L'inconsapevolezza dell'imaging e la comunicazione del rischio
  - 1.4 Le dosi delle metodiche di imaging diagnostico
- Bibliografia

## 1.1

### Introduzione

Negli ultimi tre decenni si è verificato un consistente incremento del numero di procedure radiologiche effettuate in sanità. Il ricorso sempre più frequente e sistematico alle tecniche di diagnostica per immagini ha fatto sì che queste abbiano assunto il ruolo di strumento indispensabile per definire il corretto percorso terapeutico dei pazienti. Oggi le diverse metodiche di imaging radiologico (radiologia, ecografia, risonanza magnetica e medicina nucleare) producono oltre 5 miliardi di esami all'anno e questo numero è probabilmente destinato a crescere ulteriormente nel prossimo futuro. Mentre l'ecografia e la risonanza magnetica non impiegano radiazioni ionizzanti e sono quindi generalmente ritenute innocue, la radiologia e la medicina nucleare sono basate su energie ionizzanti, che pertanto comportano rischi per i pazienti. Sono proprio queste ultime ad aver registrato il maggior incremento e la sola tomografia computerizzata (TC) arriva attualmente a erogare oltre il 65% della dose radiante prodotta da attività mediche [1]. Mentre negli ultimi trent'anni l'esposizione alle radiazioni ambientali – quali raggi cosmici e radon – è rimasta sostanzialmente invariata, abbiamo invece assistito a un aumento dell'esposizione dovuta a procedure mediche intorno al 600%, che oggi rappresentano circa il 50% dell'esposizione totale, contro il 15% degli anni Ottanta [2].

Questo marcato incremento della quantità di radiazioni ha prodotto, sia tra i ricercatori che nei diversi mezzi di comunicazione, una crescente preoccupazione per i possibili rischi dei pazienti, sia di tipo oncologico che, più recentemente, non oncologico. Nel 2006 la National Academy americana ha reso noto il rapporto BEIR VII (*Biological Effects of Ionizing Radiation*), in cui vengono riportati nuovi dati epidemiologici su importanti popolazioni di studio [3]. Fra queste, particolare importanza riveste il Life Span Study, basato su 86.572 sopravvissuti delle esplosioni nucleari di Hiroshima e Nagasaki, che sono stati seguiti nel tempo dal 1950 fino al 1997 [4]. L'analisi di questa ampia coorte di sopravvissuti indica che sussiste un rischio statisticamente significativo di sviluppare un tumore radio-indotto anche a basse dosi (0-100 mSv), suggerendo la validità del modello di relazione lineare senza soglia (*Linear No Threshold, LNT*) su cui si fonda il nostro sistema di radioprotezione. Questo modello si basa sul principio che “non esiste una dose sufficientemente piccola che non possa produrre un danno e ad ogni incremento di esposizione si associa un proporzionale incremento del rischio di dare luogo ad una neoplasia radioindotta”. Anche dati provenienti da altre popolazioni di studio, come i lavoratori di stabilimenti nucleari e soggetti sottoposti a radiazioni per scopi medici, indicano un significativo incremento del rischio di sviluppare un cancro. Alla luce di queste informazioni, il rapporto BEIR VII afferma che esiste un incremento dell'1% del rischio di sviluppare un tumore a seguito dell'esposizione a radiazioni pari a 100 mSv, con un intervallo di confidenza compreso fra 1 su 30 e 1 su 300. Facendo seguito a questi studi, un lavoro prodotto nel 2007 stima che ogni anno negli Stati Uniti vengano prodotti 29.000 tumori a seguito delle esposizioni mediche dovute al solo utilizzo della TC [5].

Nonostante sussistano dubbi sulla precisa entità del pericolo derivante dalle radiazioni per uso medico, è comunque unanimemente riconosciuto che il problema è reale e non può quindi essere sottovalutato. Nel 2009 la Food and Drug Administration (FDA), a seguito della scoperta di gravi casi di sovraesposizione verificatisi in ospedali americani, ha lanciato una campagna di verifica dei protocolli delle strumentazioni radiologiche. In particolare, ha suscitato molto clamore la scoperta, propagandata dai mass media, di un grave caso di sovraesposizione verificatosi al Cedars-Sinai Center di Los Angeles (California), dove oltre 200 pazienti hanno manifestato effetti deterministici, quali eritema della cute e alopecia, dopo essere stati sottoposti a una TC di perfusione dell'encefalo. Il superamento di dose erogata tale da produrre effetti deterministici (e non stocastici, gli unici che dovrebbero essere tenuti in considerazione nelle procedure di imaging diagnostico) ha fatto sì che venisse alla luce una diffusa e preoccupante *malpractice* nell'utilizzo delle metodiche basate sull'impiego di radiazioni ionizzanti, che altrimenti non sarebbe probabilmente emersa.

Numerosi elementi inducono a ipotizzare che questa scarsa attenzione nei confronti dei rischi derivanti dalle procedure radiologiche non sia un fenomeno esclusivamente americano, ma rappresenti una realtà globale. Recenti campagne di sensibilizzazione, come *Image Wisely* e *Image Gently*, stanno cercando di diffondere nel personale dell'area radiologica maggiore consapevolezza e attenzione nei confronti dei potenziali rischi conseguenti a un'inappropriata esposizione, identificando nella formazione l'elemento fondamentale per modificare il comportamento di tutti gli operatori [6, 7].

## 1.2

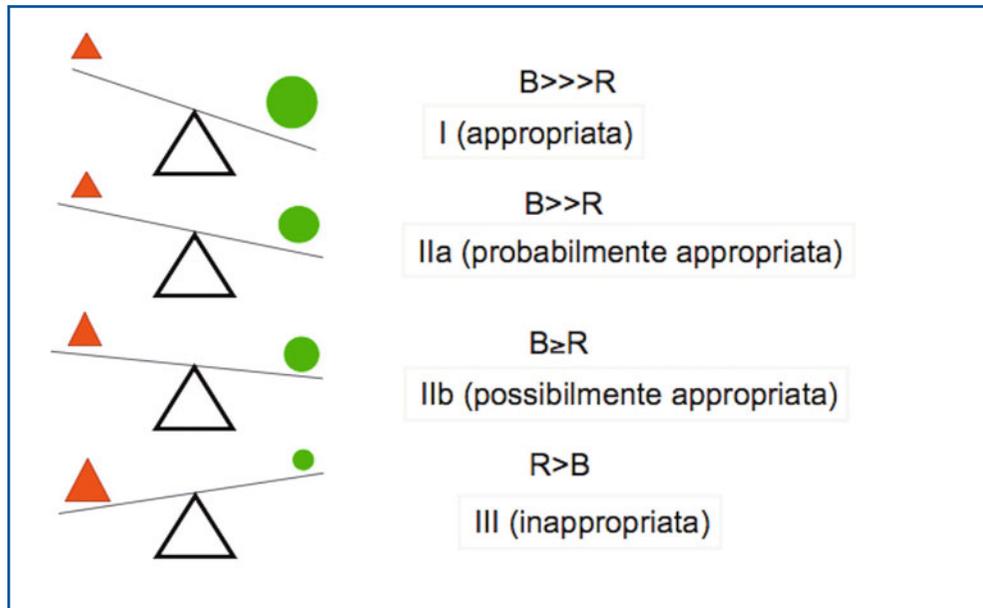
### Il rischio dell'inappropriatezza diagnostica

La grande evoluzione tecnologica avvenuta negli ultimi anni con la disponibilità di mezzi diagnostici sempre più sofisticati e diversificati non è purtroppo andata di pari passo con un utilizzo sempre consapevole e appropriato di tali risorse. Recenti stime hanno evidenziato come molti degli esami radiologici eseguiti quotidianamente siano parzialmente o totalmente inappropriati, producendo quindi rischi ingiustificati per i pazienti, oltre che costi sempre più difficilmente sostenibili [8]. Un uso non oculato e indiscriminato di queste importanti tecnologie ne riduce i benefici ottenibili, aumentando invece i costi in termini di rischi per il paziente e per l'intera società.

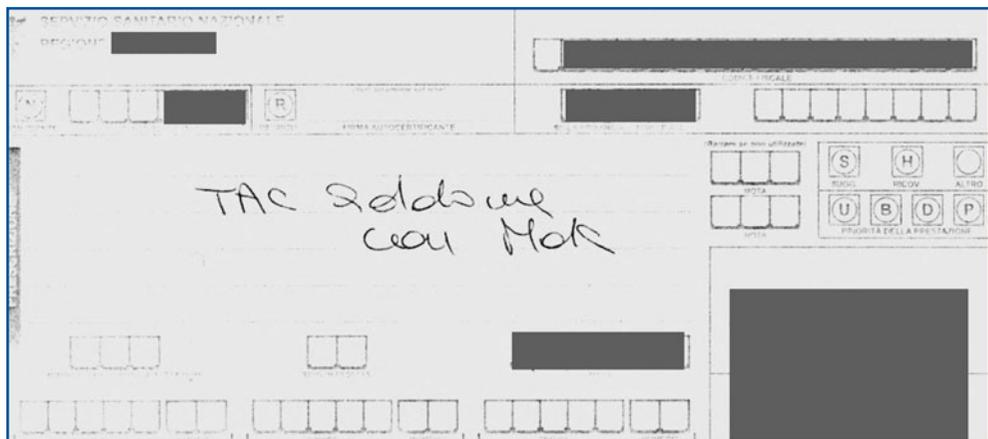
La valutazione dell'appropriatezza di una procedura radiologica costituisce il punto di partenza per una corretta utilizzazione delle tecniche di imaging diagnostico, che risultano vantaggiose solo quando le informazioni ottenibili superano i potenziali effetti negativi derivanti dal loro impiego. Ovviamente, per poter eseguire correttamente questa valutazione occorre conoscere sia i benefici che i rischi; se non sussistono dubbi sui benefici che le procedure di imaging diagnostico possono apportare, ponderare i rischi è un compito assai delicato. La valutazione dell'appropriatezza di un esame può essere raffigurata da una bilancia sui cui due piatti si pongono un cerchio – che rappresenta il beneficio – e un triangolo, che rappresenta il rischio; i tre vertici del triangolo indicano i tre tipi di rischio (acuto, subacuto e tardivo).

Mentre i rischi acuti (per esempio, una reazione da ipersensibilità al mezzo di contrasto) sono ben conosciuti da decenni e in tempi recenti si è iniziato a considerare seriamente quelli di tipo subacuto (per esempio, nefropatia da contrasto), ben diversa è la valutazione del rischio tardivo (quale il pericolo di contrarre un tumore radioindotto), che si cela dietro una cortina di inconsapevolezza e superficialità difficile da eliminare. L'American Heart Association (AHA), l'American College of Cardiology (ACC) e la European Society of Cardiology (ESC) hanno proposto delle linee guida classificando l'appropriatezza delle procedure in quattro diverse classi (I appropriata, IIa probabilmente appropriata, IIb possibilmente appropriata, III inappropriata) riportate nella Figura 1.1.

Il tema dell'appropriatezza riguarda, in particolare, la TC. Questa tecnica diagnostica ha conosciuto negli ultimi dieci anni uno sviluppo tecnologico spettacolare, che ne ha esteso l'applicabilità in moltissimi campi della patologia grazie alla sua elevata risoluzione spaziale e alla possibilità di ottenere una grande quantità di informazioni diagnostiche in tempi estremamente rapidi. Per questo motivo la TC viene a torto ritenuta l'unica tecnica in grado di risolvere virtualmente qualsiasi problema clinico-diagnostico. Inoltre, se in passato le limitazioni dei primi tomografi TC imponevano di circoscrivere il più possibile il volume di scansione (e, prima ancora, il quesito diagnostico), oggi la grande rapidità di acquisizione e la possibilità tecnica di effettuare studi total body con un'unica iniezione di mezzo di contrasto iodato ha moltiplicato il numero di richieste di esami multifasici estesi ad ampi volumi, anche quando l'esame TC potrebbe essere validamente eseguito con poche scansioni condotte su territori anatomici molto più ristretti (Fig. 1.2). A questo atteggiamento concorrono diversi fattori, come un'eccessiva importanza attribuita alla valutazione morfologica quale elemento necessario per formulare diagnosi, un sempre più dif-



**Fig. 1.1** Rappresentazione grafica del rapporto rischio/benefici di una procedura cardiologica secondo le linee guida AHA-ACC-ESC del 2007. Modificata da [9] con autorizzazione



**Fig. 1.2** Richiesta di TC addome con mdc priva di quesito diagnostico. Dall'anamnesi è stato possibile stabilire che l'indagine doveva essere mirata a escludere la presenza di epatocarcinoma in un soggetto cirrotico con riscontro ecografico di noduli epatici sospetti. Per tale quesito è sufficiente lo studio del fegato, da effettuare con una tecnica multifasica finalizzata alla tipizzazione di lesioni focali epatiche, a meno di rendere l'indagine non diagnostica (ovvero l'irradiazione inutile)

fuso difensivismo medico [10, 11] e la tendenza da parte di taluni clinici di gestire autonomamente la richiesta degli esami TC senza consultare lo specialista radiologo su come programmare al meglio l'iter diagnostico [12, 13], cosa che presumibilmente contribuirebbe a ridurre il numero di esami inappropriati [14]. In particolare, in un re-

centissimo studio [13] è emerso che, in un ospedale specialistico, la TC rappresentava la tipologia di esame ripetuto più frequentemente (43,2%, mentre l'ecografia – la seconda metodica ripetuta con maggior frequenza – si attestava al 20,6%) e che ben l'88,2% degli esami erano ripetuti senza indicazione posta da un radiologo. Una conseguenza pericolosa di questo “Far West” radiologico è il sempre più comune ricorso alla TC come metodica panesplorante, utilizzata come indagine preliminare per formulare rapidamente *qualche* diagnosi, anziché in situazioni particolari e negli stadi finali dell'iter diagnostico per confermare *una* diagnosi. Tutto ciò concorre a far lievitare la dose radiante assorbita dai singoli pazienti (e, su vasta scala, dalla popolazione) e a determinare un uso inappropriato delle risorse con possibile ritardo della diagnosi e aumento dei tempi di ricovero e della spesa sanitaria.

---

### 1.3

#### L'inconsapevolezza dell'imaging e la comunicazione del rischio

Numerosi studi presenti in letteratura indicano una non corretta conoscenza da parte degli operatori sanitari relativamente alla dose radiante erogata dalle diverse procedure radiologiche. Uno studio condotto nel 2004 su radiologi nordamericani ha evidenziato un'allarmante inconsapevolezza delle dosi prodotte dalle procedure radiologiche utilizzate quotidianamente, sottostimando da 50 a 500 volte la dose di una comune TC dell'addome [15]: il 5% degli intervistati riteneva che una TC dell'addome (responsabile di una dose mediamente pari a quella di circa 500 radiografie del torace) erogasse una dose inferiore a quella di una radiografia del torace, mentre il 56% la riteneva equivalente a circa 10 radiografie del torace. In un ulteriore studio effettuato nel 2007 in tre ospedali universitari americani, il 93% del personale intervistato sottostimava il valore della dose erogata dalle comuni procedure radiologiche [16].

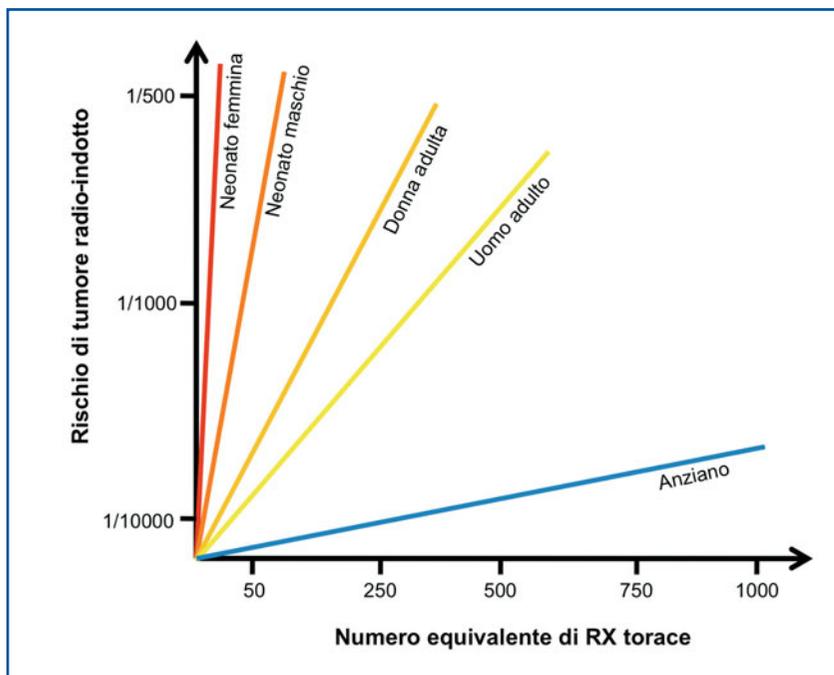
L'inconsapevolezza radiologica non si limita alla valutazione del livello di dose erogata, ma si può estendere anche all'incapacità di differenziare le metodiche ionizzanti da quelle non ionizzanti. Uno studio inglese pubblicato nel 2003 indicava che il 20% dei medici internisti britannici intervistati riteneva la risonanza magnetica ionizzante, mentre il 10% considerava l'ecografia ionizzante [17]. Un altro studio effettuato su pediatri riportava che il 4% degli intervistati riteneva l'ecografia ionizzante e il 12% considerava la scintigrafia una metodica non ionizzante [18]. L'inconsapevolezza medica sulle dosi e sulla natura energetica che caratterizza le diverse metodiche di imaging diagnostico pone seri interrogativi sulla capacità di parte del personale medico di programmare un percorso diagnostico-terapeutico appropriato e giustificato. Un articolo pubblicato sull'*International Journal of Cardiology* conferma questa preoccupazione, indicando che la maggior parte dei medici non possiedono una sufficiente conoscenza sui rischi connessi agli esami radiologici che giornalmente prescrivono [19].

Di fronte a questo scenario rimane difficile capire come possa essere trasmessa ai pazienti una corretta informazione sui potenziali danni biologici connessi all'imaging radiologico, senza correre il pericolo di sottostimare i rischi di certe procedure, ma anche di creare reazioni di ingiustificato allarmismo. In un articolo del 2004 [20]

Picano afferma che esistono attualmente tre diverse strategie della comunicazione del rischio:

1. non fornire alcuna informazione sui rischi delle procedure basate su radiazioni ionizzanti, anche nel caso di esami caratterizzati dalla somministrazione di elevate dosi radianti, come alcune procedure interventistiche (posizionamento di stent coronarico), di medicina nucleare (scintigrafia miocardica con tallio) o di tomografia computerizzata (TC cardiaca con ECG-gating retrospettivo o esami multifasici del distretto toraco-addominale);
2. sottostimare i rischi, fornendo informazioni più o meno volutamente imprecise e frammentarie, probabilmente per evitare timori nei confronti di un rischio inevitabile. Spesso il consenso informato non prevede certe informazioni o, se le prevede, esse vengono fornite al paziente in modo disattento e svogliato dal personale radiologico, se non addirittura dal personale amministrativo, privo di formazione radioprotezionistica [21];
3. informare correttamente il paziente sia per quanto riguarda i benefici che i possibili rischi, rispettando un diritto universalmente sancito, ovvero quello del paziente all'informazione.

Ovviamente l'informazione dei pazienti sui possibili rischi non è pratica semplice, in quanto richiede l'utilizzo di un linguaggio che rispetti criteri di veridicità, leggibilità, comprensibilità ed equilibrio. Invece, i moduli di consenso informato solitamente utilizzati contengono frasi e termini inaccessibili e sono spesso incomprensibili per persone di cultura medio-bassa. Parlare in termini di megabequerel, millicurie, millirem, millisievert, dose efficace, DLP, ecc. genera un vero e proprio labirinto da cui medici prescriventi, clinici e pazienti – quando non addirittura gli stessi radiologi – non riescono più a uscire. Occorre quindi identificare un linguaggio diverso, utilizzando una terminologia semplice e comprensibile anche per pazienti di bassa formazione culturale, utilizzando ad esempio paragoni con semplici e ben conosciuti esempi di vita quotidiana. Potremmo paragonare il rischio di una procedura radiologica ionizzante con il rischio di percorrere un certo numero di chilometri in auto o il numero di sigarette fumate. Per esempio, possiamo informare il paziente che l'esecuzione di una TC del torace equivale a circa 300-350 radiografie del torace, pari al rischio di subire un incidente ogni 4000 chilometri percorsi in auto o di fumare 700 sigarette. Recentemente sia lo United Kingdom College of Radiology che le linee guida della Commissione Europea hanno fortemente suggerito di esprimere il rischio radiologico in termini di equivalenti di radiografie del torace e hanno prodotto una classificazione del rischio dove ciascuna procedura radiologica viene classificata con un numero crescente di icone raffiguranti sostanze radioattive al crescere della loro pericolosità. Un'altra possibilità è l'utilizzo di grafici come quello proposto da Picano e recentemente adottato dall'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica, in cui sulle ascisse viene riportata la dose erogata e sulle ordinate il rischio di contrarre una neoplasia dipendente dalle radiazioni ricevute per una determinata procedura: in base all'età di esposizione, al sesso e alla dose ricevuta, il rischio viene indicato con una retta che origina dallo zero (in quanto, secondo il modello LNT, non esiste una soglia al di sotto della quale non sussista un rischio) e assume diversa pendenza in base al variare della pericolosità. Poiché un'immagine risulta molto più incisiva di mille parole, possiamo visualizzare il rischio dei diversi esami radiologici disegnando un grafico dove sulle ascisse è ripor-



**Fig. 1.3** Rappresentazione del rischio di una TC in base alla dose radiante, all'età di esposizione e al sesso. Modificata da [9] con autorizzazione

tato il valore dosimetrico delle procedure (espresso in numero equivalente di radiografie del torace) e sulle ordinate la percentuale di rischio: la possibilità di contrarre una neoplasia dipenderà quindi dalla dose assorbita, dal sesso e dall'età in cui avviene l'esposizione, rappresentate da rette passanti per l'origine con diverse pendenze (Fig. 1.3). Una rappresentazione grafica del rischio potrebbe consentire un semplice passaggio di informazioni sul rischio da medico a medico e da medico a paziente.

## 1.4

### Le dosi delle metodiche di imaging diagnostico

Ma qual è la dose radiante erogata dai principali esami di diagnostica per immagini? Rispondere a questa domanda è tutt'altro che semplice, in quanto pochi sono gli studi in letteratura che riportano dati basati su misurazioni reali, ovvero effettuate nella pratica quotidiana e non riferite a misurazioni standard su fantocci più o meno antropomorfi, che possono essere ben lontani dalla realtà. Oltre tutto, diverse attività radiologiche risultano difficilmente standardizzabili in quanto legate alle caratteristiche della singola procedura, all'abilità dell'operatore e alla strumentazione disponibile.

Il settore dell'imaging caratterizzato da una minor erogazione di dose è sicuramente quello della cosiddetta radiologia tradizionale, metodica ormai centenaria, ma che rappresenta ancora una valida opzione diagnostica in molti ambiti clinici. All'interno di questa, l'esame più frequentemente eseguito è la radiografia del torace che è caratterizzata da una dose di circa 0,02 mSv nel caso di una singola proiezione postero-anteriore o di circa 0,1 mSv se viene eseguita anche la proiezione latero-laterale. La singola radiografia del torace può quindi essere considerata una specie di "unità di misura radiologica", che consente di paragonare le altre procedure in termini di "numero equivalente di radiografie del torace" e ottenere un semplice, anche se approssimativo, valore del differente impatto dosimetrico delle varie metodiche radiologiche. Possiamo quindi affermare che una radiografia del cranio (circa 0,1 mSv) equivale a 5 radiografie del torace, o che una radiografia dell'addome (circa 0,7 mSv) equivale a 35 radiografie del torace. In alternativa, le diverse procedure radiologiche possono essere paragonate alla radiazione ambientale cui ogni individuo è naturalmente esposto, esprimendo il valore della singola procedura in numero di giorni di radiazione ambientale in grado di produrre la radiazione prodotta dal singolo esame (*Background Equivalent Radiation Time*, BERT). In questo caso, potremo dire che una radiografia del torace equivale alla radiazione che riceviamo in 3 giorni di radiazioni ambientali e che una radiografia dell'addome equivale a poco più di 100 giorni di esposizione.

Nella Tabella 1.1 vengono riportati i valori di dose delle principali procedure di diagnostica radiologica tradizionale [22]. Il passaggio registrato negli ultimi anni da una radiologia su pellicola a una radiologia digitale non sembra aver particolarmente influito sulla dose erogata [23, 24]. Nonostante la radiologia digitale abbia tutte le potenzialità per ridurre la dose erogata rispetto ai sistemi schermo-pellicola, non sempre ciò si è verificato e anzi sono documentati casi in cui la dose erogata tende addirittura ad aumentare. Invece, il settore dove sicuramente è stata registrata una riduzione della dose è quello dell'imaging senologico, in cui i sistemi digitali consentono di diminuire il valore della dose ghiandola media. Le dosi erogate in radiologia tradizionale sono comunque generalmente contenute, eccetto per alcune procedure più complesse come urografia e clisma a doppio contrasto, dove l'intervallo di dose osservato può essere particolarmente ampio a seconda delle diverse condizioni di esame e del grado di esperienza dell'operatore che esegue la procedura (numero di radiogrammi acquisiti e tempo di fluoroscopia).

Una situazione più complessa emerge dagli esami di medicina nucleare (Tabella 1.2), dove la tipologia di radionuclide somministrato può influire notevolmente sull'impatto dosimetrico per il paziente [22]. Per esempio, l'esecuzione di una scintigrafia cardiaca con tecnezio ( $^{99m}\text{Tc}$ ) può produrre una dose media di circa 10 mSv (equivalente a 500 radiografie del torace), mentre con il tallio – oggi fortunatamente sempre meno utilizzato – la dose può arrivare fino a 40 mSv (equivalente a 2000 radiografie del torace). L'utilizzo del  $^{18}\text{F}$ -FDG nelle procedure PET può comportare esposizioni di circa 15 mSv, che possono raddoppiare nelle procedure combinate PET-TC.

Ma la situazione sicuramente più allarmante deriva dagli esami TC e dalle procedure di radiologia interventistica (Tabella 1.3). Nel primo caso i valori di dose possono essere contenuti in valori di 1-4 mSv (equivalente a 50-200 radiografie del torace) nel caso di una TC del cranio, ma si possono registrare valori di 15-20 mSv