RAPPORTI ISTISAN 26|16 Rev.

ISSN: 1123-3117 (cartaceo) • 2384-8936 (online)

Livelli diagnostici di riferimento per la pratica nazionale di radiologia interventistica e di medicina nucleare diagnostica

L. D'Ercole, R. Padovani, A. Orlacchio, G. Bernardi, V. Cannatà, G. Compagnone, M.C. Garganese, A. Magistrelli, C. Pettinato, G. Rovera, M. Zecchin, A. Rosi, A. Palma, S. Grande

TECNOLOGIE E SALUTE

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

Livelli diagnostici di riferimento per la pratica nazionale di radiologia interventistica e di medicina nucleare diagnostica

Loredana D'Ercole (a), Renato Padovani (b), Antonio Orlacchio (c), Guglielmo Bernardi (d), Vittorio Cannatà (e), Gaetano Compagnone (f), Maria Carmen Garganese (g), Andrea Magistrelli (h), Cinzia Pettinato (i), Guido Rovera (l), Massimo Zecchin (m), Antonella Rosi (n), Alessandra Palma (n), Sveva Grande (n)

(a) Struttura Complessa Fisica Sanitaria, Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo, Pavia
(b) International Centre for Theoretical Physics, Trieste
(c) già Dipartimento di Scienze Chirurgiche, Università degli Studi di Roma Tor Vergata, Roma
(d) Struttura Sanitaria Polimedica, Cooperativa di Educazione e di Solidarietà Sociale Friuli-Venezia Giulia, Pradamano, Udine
(e) Unità Operativa Complessa Fisica Sanitaria, IRCCS Ospedale Pediatrico Bambino Gesù, Roma
(f) già Struttura Complessa Fisica Sanitaria, IRCCS Azienda Ospedaliero-Universitaria, Bologna
(g) Unità Operativa Complessa Medicina Nucleare, IRCCS Ospedale Pediatrico Bambino Gesù, Roma
(h) Unità Operativa Complessa Radiologia Diagnostica Palidoro, IRCCS Ospedale Pediatrico Bambino Gesù, Roma
(i) Struttura Semplice Dipartimentale Fisica Sanitaria, Fondazione IRCCS Ca' Granda Ospedale Maggiore Policlinico, Milano
(l) Struttura Complessa Medicina Nucleare, Dipartimento di Scienze Mediche, Università di Torino
(m) Struttura Complessa Cardiologia, Azienda Sanitaria Universitaria Giuliano-Isontina, Trieste
(n) Centro Nazionale Intelligenza Artificiale e Tecnologie Innovative per la Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

ISSN: 1123-3117 (cartaceo) • 2384-8936 (online)

Rapporti ISTISAN 26/16 Rev.

Istituto Superiore di Sanità
Livelli diagnostici di riferimento per la pratica nazionale di radiologia interventistica e di medicina nucleare diagnostica.
Loredana D'Ercole, Renato Padovani, Antonio Orlacchio, Guglielmo Bernardi, Vittorio Cannatà, Gaetano Compagnone, Maria Carmen Garganese, Andrea Magistrelli, Cinzia Pettinato, Guido Rovera, Massimo Zecchin, Antonella Rosi, Alessandra Palma, Sveva Grande
2026, vi, 70 p. Rapporti ISTISAN 26/16 Rev.

Nel 2017 l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) ha istituito un Gruppo di Lavoro (GdL) multidisciplinare, con l'obiettivo di definire i Livelli Diagnostici di Riferimento (LDR) in radiologia diagnostica e interventistica e in medicina nucleare. Le attività svolte dal GdL nell'ultimo decennio hanno condotto alla pubblicazione dei *Rapporti ISTISAN* 17/33 e 20/22, citati nel DL.vo 203/2022 quali documenti di riferimento a livello nazionale per l'applicazione del principio di ottimizzazione delle esposizioni mediche. Il GdL è attualmente composto da esperti del settore, individuati dall'ISS, e da membri delegati dalle Associazioni Scientifiche direttamente coinvolte nelle suddette tipologie di procedure, ovvero: l'Associazione Italiana di Aritmologia e Cardiostimolazione (AIAC), l'Associazione Italiana di Fisica Medica e Sanitaria (AIFM), l'Associazione Italiana di Medicina Nucleare, Imaging Molecolare e Terapia (AIMN), la Società Italiana di Cardiologia Invasiva – Gruppo Italiano di Studi Emodinamici (GISE) e la Società Italiana di Radiologia Medica e Interventistica (SIRM).
Parole chiave: Livelli Diagnostici di Riferimento; Radiologia interventistica; Medicina nucleare

Istituto Superiore di Sanità
Diagnostic reference levels for national practice of interventional radiology and of diagnostic nuclear medicine.
Loredana D'Ercole, Renato Padovani, Antonio Orlacchio, Guglielmo Bernardi, Vittorio Cannatà, Gaetano Compagnone, Maria Carmen Garganese, Andrea Magistrelli, Cinzia Pettinato, Guido Rovera, Massimo Zecchin, Antonella Rosi, Alessandra Palma, Sveva Grande
2026, vi, 70 p. Rapporti ISTISAN 26/16 Rev. (in Italian)

In 2017, the Istituto Superiore di Sanità (ISS, the National Institute of Health in Italy) established a multidisciplinary Working Group (WG) with the aim of defining Diagnostic Reference Levels (DRLs) in diagnostic and interventional radiology and in nuclear medicine. The activities carried out by the WG over the past decade have led to the publication of the reports *Rapporto ISTISAN* 17/33 and 20/22, which are cited in Legislative Decree No. 203/2022 as national reference documents for the application of the principle of optimization of medical exposures. The WG is currently composed of field experts identified by the ISS and members delegated by the Scientific Associations directly involved in the aforementioned types of procedures, namely: the Italian Association of Arrhythmology and Cardiac Pacing (AIAC), the Italian Association of Medical and Health Physics (AIFM), the Italian Association of Nuclear Medicine, Molecular Imaging and Therapy (AIMN), the Italian Society of Invasive Cardiology – Italian Group of Hemodynamic Studies (GISE), and the Italian Society of Medical and Interventional Radiology (SIRM). This document updates the *Rapporto ISTISAN* 20/22 Rev. about DRLs in Interventional Radiology and Nuclear Medicine, for both adult and paediatric patients.
Key words: Diagnostic Reference Levels; Interventional radiology; Nuclear medicine

Il presente documento integra il *Rapporto ISTISAN* 26/16, a sua volta aggiornamento del *Rapporto ISTISAN* 20/22 Rev., per quanto concerne i Livelli Diagnostici di Riferimento in radiologia interventistica e in medicina nucleare, sia per il paziente adulto sia per quello pediatrico. L'integrazione si riferisce a: Tabella 4.1 – Embolizzazione aneurismi cerebrali (tutte): LDR 55 min e $K_{a,ref}$ 2,88 Gy rispettivamente; Tabella A2 – aggiunte tre procedure neuroradiologiche (angiografia cerebrale, embolizzazione aneurisma cerebrale, trombectomia meccanica per trattamento ictus).

Si ringraziano la dott.ssa Caherine Klersy per l'elaborazione statistica dei dati dell'indagine nazionale ISS-San Matteo e la dott.ssa Sandra Salinetti per l'attenta revisione del presente documento.

Per informazioni su questo documento scrivere a: sveva.grande@iss.it; alessandra.palma@iss.it

Nel rapporto la forma maschile scelta si riferisce sempre contemporaneamente a persone femminili, maschili e con altra identità di genere, se non diversamente specificato. Le denominazioni multiple vengono omesse a favore di una migliore leggibilità.

Il rapporto è accessibile online dal sito di questo Istituto: www.iss.it

Citare questo documento come segue:

D'Ercole L, Padovani R, Orlacchio A, Bernardi G, Cannatà V, Compagnone G, Garganese MC, Magistrelli A, Pettinato C, Rovera G, Zecchin M, Rosi A, Palma A, Grande S. *Livelli diagnostici di riferimento per la pratica nazionale di radiologia interventistica e di medicina nucleare diagnostica.* Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2026. (Rapporti ISTISAN 26/16 Rev.).

Legale rappresentante dell'Istituto Superiore di Sanità: *Rocco Bellantone*
Registro della Stampa - Tribunale di Roma n. 114 (cartaceo) e n. 115 (online) del 16 maggio 2014

Direttore responsabile della serie: *Antonio Mistretta*
Coordinamento redazionale: *Sandra Salinetti.* Redazione*: Sandra Salinetti, Annalisa D'Angelo*
La responsabilità dei dati scientifici e tecnici è dei singoli autori, che dichiarano di non avere conflitti di interesse.

© *Istituto Superiore di Sanità 2026*
viale Regina Elena, 299 – 00161 Roma

Elenco nominativo dei centri che hanno contribuito all'indagine nazionale in radiologia interventistica per il paziente adulto e responsabili della raccolta

ARNAS Civico Di Cristina Benfratelli di Palermo (Giuseppina Iacoviello)
ARNAS G. Brotzu di Cagliari (Sergio Zucca)
ASL Cagliari – ATS Sardegna (Marianna Loi)
ASL Pescara (Piera Turano)
ASL Roma 2, Ospedale Sandro Pertini, Roma (Germano Scevola)
ASL3 Regione Liguria, Ospedale Padre Antero Micone, Sestri Ponente (Fabrizio Bisi)
ASL3 Regione Liguria, Ospedale Villa Scassi (Fabrizio Bisi)
ASST Brianza – Ospedale di Desio (Carola Ghezzi)
ASST Brianza – Ospedale di Vimercate (Antonio Ciro, Raffaele Villa)
ASST Crema – Ospedale Maggiore di Crema (Loredana D'Ercole)
ASST dei Sette Laghi, Ospedale di Circolo e Fondazione Macchi Polo Universitario Varese (Sabina Strocchi)
ASST Grande Ospedale Metropolitano Niguarda, Milano (Paola Enrica Colombo)
ASST Melegnano Martesana – Ospedale di Vizzolo Predabissi (Loredana D'Ercole)
ASST Papa Giovanni XXIII, Bergamo (Fabiola Cretti)
ASU FC – Azienda Sanitaria Universitaria Friuli Centrale (Marta Maieron)
ASU GI – Azienda Sanitaria Universitaria Giuliano Isontina, Trieste (Paola Bregant)
ATNO Lido di Camaiore (Lu). P.O. Versilia (Alessandra Niespolo)
ATNO Ospedale Apuane – NOA, Massa (Elena Lorenzini)
ATS Sardegna ASSL Sassari (Rossana Bona)
AUSL Bologna, Ospedale Maggiore e Ospedale Bellaria Carlo Alberto Pizzardi, Bologna (Raffaella Soavi)
AUSL Piacenza (Carlo Giordano)
AUSL Romagna – Ambito Territoriale di Cesena (Fabrizio Busca)
AUSL Romagna – Ambito territoriale di Forlì (Giovanna Venturi)
AUSL Romagna – Ambito Territoriale di Ravenna (Simona Farnedi)
AUSL Romagna – Ambito Territoriale di Rimini (Lidia Angelini)
Azienda Ospedaliera di Perugia (Andrea Chiappinello)
Azienda Ospedaliera Nazionale SS. Antonio e Biagio e Cesare Arrigo, Alessandria (Paola Isoardi, Enrico Ferron)
Azienda Ospedaliera Pugliese-Ciaccio, Catanzaro (Rosa Antonella Anoja, Maria Chiara Angiocchi)
Azienda Ospedaliera Regionale S. Carlo Potenza (Giorgia Califano)
Azienda Ospedaliera Universitaria Policlinico G. Rodolico – San Marco, Catania (Concetta Stancampiano)
Azienda Ospedaliero Universitaria Careggi, Firenze (Adriana Taddeucci)
Azienda Ospedaliero Universitaria Città della Salute e della Scienza di Torino (Osvaldo Rampado)
Azienda Ospedaliero Universitaria di Parma (Caterina Ghetti)
Azienda Ospedaliero Universitaria Pisana, Pisa (Roberto Cioni)
Azienda Ospedaliero Universitaria San Luigi Gonzaga, Orbassano (TO) (Edoardo Trevisiol)
Azienda provinciale per i Servizi Sanitari di Trento (Annalisa Trianni)
Azienda ULSS 6 Euganea (Lucia Riccardi)
Azienda USL Toscana Nord Ovest, Lucca (Mariagrazia Quattrocchi)
Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo, Pavia (Loredana D'Ercole, Catherine Klersy)
Fondazione IRCCS San Gerardo dei Tintori, Monza (Nicoletta Paruccini)
Fondazione Policlinico Universitario A. Gemelli IRCCS, Roma (Andrea Fidanzio)
INT Fondazione "G. Pascale", Napoli (Vincenzo Cerciello)
IRCCS Azienda Ospedaliero-Universitaria di Bologna, Policlinico di Sant'Orsola-Malpighi (Lidia Strigari)
IRCCS Ospedale San Raffaele, Milano (Antonella del Vecchio)
IRCCS Policlinico San Donato, Milano (Alessandro Loria)

Ospedale Isola Tiberina – Gemelli Isola, Roma (Stefania delle Canne)
Policlinico Universitario Tor Vergata, Roma (Antonio Orlacchio)
SABES – Azienda Sanitaria della Provincia Autonoma di Bolzano, Bolzano (Nadia Oberhofer)
SABES – Azienda Sanitaria della Provincia Autonoma di Bolzano, Merano (Nadia Oberhofer)
San Filippo Neri, ASL Roma1, Roma (Rita Consorti)
USL Toscana Centro, Ospedale San Giovanni di Dio, Firenze (Silvia Pini)
USL Toscana Centro, Ospedale Santa Maria Annunziata, Bagno a Ripoli (Silvia Pini)
USL Toscana Nord Ovest – Zona Sud, Livorno (Giancarmelo Agnello)

INDICE

Acronimi, abbreviazioni e definizioni v

Introduzione 1

1. Obiettivo 3
Bibliografia 4

2. Metodi di individuazione dei livelli diagnostici di riferimento 6
2.1. Radiologia interventistica del paziente adulto 6
2.1.1. Procedure di interesse per gli LDR in radiologia interventistica 6
2.2. Radiologia interventistica del paziente pediatrico 7
2.2.1. Procedure di interesse per gli LDR in radiologia interventistica 7
2.3. Medicina nucleare diagnostica del paziente adulto 8
2.3.1. Procedure di interesse per gli LDR in medicina nucleare diagnostica 8
2.4. Medicina nucleare diagnostica del paziente pediatrico 9
2.4.1. Procedure di interesse per gli LDR in medicina nucleare diagnostica 9
Bibliografia 11

3. Indagini dosimetriche in Italia e in alcuni Paesi europei ed extraeuropei 12
3.1. Radiologia interventistica 12
3.1.1. Grandezze dosimetriche per gli LDR 12
3.1.2. Valori di LDR per l'adulto da indagini nazionali ed europee 14
3.1.2.1. Complessità 18
3.1.3. Valori di LDR per il paziente pediatrico da indagini nazionali ed europee 18
3.1.3.1. Procedure interventistiche cardiologiche pediatriche 20
3.1.3.2. Procedure interventistiche neuroradiologiche pediatriche 21
3.1.3.3. Procedure interventistiche pediatriche del distretto corporeo e periferico 21
3.1.3.4. Fattore peso e complessità 23
3.2. Medicina nucleare diagnostica dell'adulto 23
3.2.1. Grandezze dosimetriche per gli LDR 23
3.2.2. Valori di LDR per l'adulto da indagini nazionali ed europee 24
3.3. Medicina nucleare diagnostica pediatrica 27
3.3.1. Grandezze dosimetriche per gli LDR 27
3.3.2. Valori di LDR per il paziente pediatrico da indagini nazionali ed europee in medicina nucleare 28
Bibliografia 31

4. Valori di LDR per la pratica di radiologia interventistica e medicina nucleare 41
4.1. Radiologia interventistica adulto 41
4.2. Medicina nucleare diagnostica adulto 43
4.3. Medicina nucleare diagnostica paziente pediatrico 46
Bibliografia 46

5. Applicazione degli LDR nella pratica clinica 52
5.1. Metodo di confronto con i valori di LDR 52
5.1.1. Procedure da includere nella verifica degli LDR 52
5.1.2. Dimensione del campione di procedure 52
5.1.3. Valori multipli di LDR 53
5.1.4. Metodologia di confronto con LDR per tener conto della complessità della procedura 54
5.1.4.1. Procedura TACE: esempio di calcolo 55
5.1.5. Frequenza delle valutazioni 57
5.2. Fattori da considerare in caso di superamento degli LDR 57
5.3. LDR locali e valori tipici 58
Bibliografia 59

Conclusioni 61
Bibliografia 61

APPENDICE A
Fattori di complessità per procedure interventistiche 63

ACRONIMI, ABBREVIAZIONI E DEFINIZIONI

Acronimi e abbreviazioni

ALARA	*As Low As Reasonably Achievable*
ASD	*Atrial Septal Defect*
bAVM	*brain Arterio-Venous Malformation emobolization*
BMI	*Body Mass Index*
BW	*Body Weight*
CA	*Coronary Angiography*
CPRE	Colangio-Pancreatografia Retrograda Endoscopica
CRT	*Cardiac Resynchronization Therapy*
CTAC	*Computed Tomography for Attenuation Correction only*
CTAC +CTL	*Computed Tomography for Attenuation Correction and Anatomic Localization*
CTDIvol	*Computed Tomography Dose Index volum*e
CTDIw	*Computed Tomography Dose Index weighted*
CVC	*Central Venous Catheter*
DAP	*Dose Area Product*
DCH	*Dual-CHamber pacemaker*
DLP	*Dose Length Product*
DLPtot	*Dose Length Product total*
DICOM	*Digital Imaging and COmmunications in Medicine*
DMSA	*Meso-2,3-Dimercaptosuccinic acid*
DOTA	*DOdecane Tetraacetic Acid*
DSA	*Digital Subtraction Angiography*
DTPA	*Diethylenetriaminepentaacetic acid*
ECD	Etil-Cisteinato-Dimero
ESAK	*Entrance Surface Air Kerma*
EVAR	*Endo Vascular Aneurysm Repair*
FDG	FluoroDesossiGlucosio
HDP	*Hydroxydiphosphonate*
HMPAO	*Hexamethylpropyleneamineoxime*
IAC	*Intra-Arteriolar Chemotherapy for retinoblastoma*
ICD	*Implantable Cardioverter Defribrillator*
IDA	*Iminodiacetic acid*
IRP	*Interventional Reference Point*
$K_{a,e}$	*Entrance surface air kerma*
$K_{a,i}$	*Incident air kerma*
$K_{a,r}$	*Incident air kerma at the patient entrance reference point*
KAP Air	*Kerma Area Product (P_{KA})*
LAFOV	*Long Axial Field of View*
LDR	Livelli Diagnostici di Riferimento
LMPC	*Left Main Percutaneous Coronary*
MAG3	Mercaptoacetiltriglicina
MAA	Macro Aggregati di Albumina
MAV	Malformazione Artero-Venosa
MDP	*Methylene diphosphonate*
MEA	Mappaggio Elettro-Anatomico
mIBG	metaIodoBenzilGuanidina
MIBI	*MethoxyIsoButylIsonitrile*
PCI	*Percutaneous Coronary Intervention*

PDA	*Patient Ductus Arteriosus*
PET	*Positron Emission Tomography*
PFO	*Patent Foramen Oval*
PI	*Pacemaker Implantation*
PICC	*Peripherally Inserted Central Catheter*
PM	*PaceMaker*
PMMA	Polimetilmetacrilato
PTA	*Percutaneous Transluminal Angioplasty*
PTCA	*Percutaneous Transluminal Coronary Angiography*
PVC	*Premature Ventricular Contractions*
PVS	*Pulmonary Valve Stenosis treatment*
PVR	*Pulmonary Valve Resistance*
RBC	*Red Blood Cells*
RDSR	*Radiation Dose Structured Report*
RVOT	*Right Ventricular Outflow Treat*
SCH	*Single-CHamber pacemaker*
SPECT	*Single Photon Emission Computed Tomography*
TACE	*TransArterial ChemoEmbolization*
TAVI	*Transcatheter Aortic Valve Implantation*
TC	Tomografia Computerizzata
TIPS	*Transjugular Intrahepatic Portosystemic Shunt*
TF	Tempo di Fluoroscopia

Definizioni

In medicina nucleare si intende:

Total body (paziente adulto)	dal vertice cranico ai piedi
Total body (paziente pediatrico)	dal basicranio alla radice delle cosce
Whole body standard (paziente adulto)	dalle orbite al primo terzo del femore

INTRODUZIONE

La Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio del 5 dicembre 2013 stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e abroga le Direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom.

La suddetta normativa è stata recepita a livello italiano con il DL.vo 101/2020 e il relativo DL.vo 203/2022 che contiene le disposizioni integrative e correttive al DL.vo 101/2020 suddetto.

Per quanto riguarda gli aspetti legati alla esposizione a radiazioni in campo medico esiste da svariati decenni in Istituto Superiore di Sanità (ISS) una competenza nell'ambito della Assicurazione di Qualità nelle scienze radiologiche, acquisita attraverso il coordinamento di Gruppi di Studio per la elaborazione di documenti di riferimento, quali indicazioni per la ottimizzazione della radioprotezione del paziente e del lavoratore.

In particolare, si è ritenuto estremamente rilevante fornire raccomandazioni a livello nazionale sui valori dei Livelli Diagnostici di Riferimento (LDR), considerati uno degli strumenti più importanti nella ottimizzazione della radioprotezione del paziente e utili nell'individuare pratiche diagnostiche non ottimizzate e in alcuni casi non accettabili, dal punto di vista dell'esposizione del paziente.

Nel 2017 l'ISS ha istituito un Gruppo di Lavoro (GdL) multidisciplinare per la definizione degli LDR in radiologia diagnostica e interventistica e medicina nucleare che ha portato alla pubblicazione dei documenti nella collana *Rapporti ISTISAN*: *Rapporti ISTISAN* 17/33 e il suo successivo aggiornamento *Rapporti ISTISAN* 20/22, che ha visto una ulteriore revisione nel 2023.

Questi ultimi sono stati citati nel DL.vo 203/2022, in particolare al Capo VIII "Modifiche al titolo XIII del decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101, relativo alle esposizioni mediche", Articolo 35, si afferma che:

> "Il responsabile dell'impianto radiologico, ai fini dell'ottimizzazione dell'esecuzione degli esami in radiodiagnostica e medicina nucleare nonché delle procedure di radiologia interventistica, garantisce che si tenga conto dei livelli diagnostici di riferimento, laddove disponibili, tenendo conto delle indicazioni più aggiornate pubblicate dall'Istituto Superiore di Sanità e, in particolare, dei rapporti ISTISAN 17/33 "Livelli diagnostici di riferimento nazionali per la radiologia diagnostica e interventistica" e ISTISAN 22/20 "Livelli diagnostici di riferimento per la pratica nazionale di radiologia diagnostica e interventistica e di medicina nucleare diagnostica. Aggiornamento del Rapporto ISTISAN 17/33" e loro successivi aggiornamenti, nonché della linea guida in Allegato XXVI."

Il presente documento costituisce l'aggiornamento del *Rapporto ISTISAN* 20/22 Rev., limitatamente agli LDR relativi alla radiologia interventistica e alla medicina nucleare nel paziente adulto e pediatrico.

L'aggiornamento è stato elaborato da un GdL che comprende competenze professionali afferenti alle Associazioni Scientifiche coinvolte nelle diverse tipologie di procedure. In tale ambito, hanno contribuito (attraverso i loro delegati): l'Associazione Italiana di Aritmologia e Cardiostimolazione (AIAC), l'Associazione Italiana di Fisica Medica e Sanitaria (AIFM), l'Associazione Italiana di Medicina Nucleare, Imaging Molecolare e Terapia (AIMN), la Società Italiana di Cardiologia Invasiva – Gruppo Italiano di Studi Emodinamici (GISE) e la Società Italiana di Radiologia Medica e Interventistica (SIRM). Del GdL fanno inoltre parte esperti del settore individuati dall'ISS.

Per quanto concerne gli LDR per la radiologia diagnostica (proiettiva, mammografia, fluoroscopia diagnostica, TC e TC *Cone Beam* per l'adulto; proiettiva e TC per il pediatrico), si rimanda al *Rapporto ISTISAN* 20/22 Rev. L'aggiornamento degli LDR relativi a tali procedure sarà oggetto di una successiva pubblicazione.

1. OBIETTIVO

Nel 2013 l'ISS ha costituito un Gruppo di Studio (GdS) per l'Assicurazione di Qualità in Radiologia Interventistica, in collaborazione con l'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL). In particolare, nell'ambito di questo GdS nel 2017 è stato istituito un Gruppo di Lavoro (GdL) multidisciplinare con l'obiettivo di definire gli LDR in radiologia diagnostica e interventistica, che ha prodotto il primo documento *Rapporto ISTISAN* 17/33 (1). Con il recepimento della Direttiva Euratom 2013/59 (2) attraverso il DL.vo 101/2020 (3) e con il conseguente aggiornamento della letteratura internazionale legata alla nuova Direttiva è stato necessario aggiornare gli LDR, con la conseguente pubblicazione del documento *Rapporto ISTISAN* 20/22 Rev. (4). In particolare, con l'emanazione del DL.vo 203/2022 (5) i *Rapporti ISTISAN* sugli LDR e i loro successivi aggiornamenti sono diventati documenti di riferimento nazionali per le strutture del Servizio Sanitario Nazionale (SSN) che operano nei settori di radiodiagnostica, radiologia interventistica e medicina nucleare.

Il DL.vo 101/2020, infatti, fa espresso riferimento all'uso degli LDR in radiologia interventistica e medicina nucleare, e al ruolo dell'ISS nel loro aggiornamento; in particolare nei seguenti articoli:

– art. 158 comma 4:

> "Il Ministero della salute avvalendosi dell'Istituto Superiore di Sanità e con il concorso delle rilevanti società scientifiche, promuove la definizione e la revisione periodica dei livelli diagnostici di riferimento per esami radiodiagnostici, tenendo conto dei livelli eventualmente raccomandati a livello europeo e, se del caso, per procedure di radiologia interventistica"

– art. 158 comma 5:

> "il responsabile dell'impianto radiologico ai fini della ottimizzazione dell'esecuzione degli esami in radiodiagnostica e medicina nucleare nonché delle procedure di radiologia interventistica garantisce che si tenga conto dei livelli diagnostici di riferimento, laddove disponibili, tenendo conto delle indicazioni più aggiornate pubblicate dall'Istituto Superiore di Sanità."

– art. 161 comma 4:

> "Il responsabile dell'impianto radiologico e lo specialista in fisica medica, per quanto di competenza, verificano e assicurano il rispetto dei livelli diagnostici di riferimento, secondo quanto indicato in Allegato XXVI. In caso di scostamento sistematico dai livelli diagnostici di riferimento, il responsabile dell'impianto radiologico adotta gli adeguati interventi correttivi in accordo allo stesso Allegato XXVI."

– art. 165 comma 6c:

> "Per le esposizioni di cui al comma 1, lettera c), punto 1), il responsabile dell'impianto radiologico:
>
> c) definisce, in collaborazione con lo specialista in fisica medica, sulla base del monitoraggio di cui al comma 7 e delle indicazioni fornite dalle norme tecniche e linee guida applicabili, i livelli diagnostici di riferimento il cui superamento implichi la verifica delle procedure di ottimizzazione."

In merito agli esami radiologici da selezionare e includere nella verifica degli LDR, l'Allegato XXVI del DL.vo 101/2020 precisa che:

> "[…] detta verifica risulta appropriata per un determinato esame qualora nell'arco di un periodo di due mesi siano in media sottoposti all'esame medesimo circa 15 pazienti all'interno della struttura."

In questo contesto per "struttura" si intende "installazione radiologica" ovvero "apparecchiatura radiologica" e, quindi in ultima analisi, "tubo radiogeno" o "apparecchiatura di medicina nucleare".

Fermo restando il criterio di cui sopra, particolare attenzione dovrà essere dedicata alla verifica del rispetto degli LDR nel caso di esami effettuati su pazienti in età pediatrica o neonatale, da effettuarsi nelle strutture sanitarie o nelle unità operative elettivamente dedicate.

Per le pratiche radiologiche comportanti alte dosi per il paziente, qualora non si raggiunga la numerosità indicata nell'Allegato XXVI del DL.vo 101/20, si indica come appropriata, ai fini della verifica degli LDR, la selezione, per la singola apparecchiatura radiologica, della prestazione con il più alto numero di esami effettuati nel corso dell'anno di riferimento.

I valori LDR non sono statici: con il progredire dell'hardware e del software e per un miglioramento dell'ottimizzazione, dovrebbero essere aggiornati regolarmente (6). Un intervallo adeguato tra le indagini nazionali di raccolta dati potrebbe essere di 3-5 anni, a seconda dei cambiamenti nella tecnologia e nella post-elaborazione e nella pratica clinica (6, 7).

Su tali basi, ai fini dell'aggiornamento degli LDR nazionali, l'ISS ha promosso e condotto un'indagine nazionale per la radiologia interventistica nell'adulto su 53 strutture dell'SSN distribuite su tutto il territorio (8).

Il GdL ha quindi stabilito di aggiornare i valori di LDR per la radiologia interventistica dell'adulto, sulla base dei valori ottenuti nella suddetta indagine, e per la radiologia interventistica del paziente pediatrico, e della medicina nucleare, nel paziente adulto e pediatrico, sulla base degli studi di letteratura più recente.

Per quanto attiene gli LDR per la radiologia diagnostica (proiettiva, mammografia, fluoroscopia diagnostica, TC e CBCT per l'adulto; proiettiva e TC per il pediatrico), si rimanda al momento al *Rapporto ISTISAN* 20/22 Rev. (4). L'aggiornamento degli LDR per queste procedure è rimandato ad un ulteriore pubblicazione.

Il presente documento ha come obiettivi:

1. la revisione e integrazione degli LDR in radiologia interventistica per l'adulto in seguito ad una indagine nazionale;
2. l'aggiornamento dei valori di LDR per le procedure di radiologia interventistica per il paziente pediatrico, e di medicina nucleare diagnostica nel paziente adulto e nel paziente pediatrico.

Bibliografia

1. Padovani R, Compagnone G, D'Ercole L, Orlacchio A, Bernardi G, Rosi A, Campanella F. *Livelli diagnostici di riferimento nazionali per la radiologia diagnostica e interventistica*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2017. (Rapporti ISTISAN 17/33).
2. Europa. Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio del 5 dicembre 2013 che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea* L 13, 17 gennaio 2014

3. Italia. Decreto Legislativo 31 luglio 2020, n. 101. Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117. *Gazzetta Ufficiale* n. 201 - Supplemento Ordinario n. 29/L, 12 agosto 2020.
4. Italia. Decreto Legislativo 25 novembre 2022, n. 203 .Disposizioni integrative e correttive al decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101, di attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a) della legge 4 ottobre 2019, n. 117. *Gazzetta Ufficiale* Serie Generale n. 2, 3 gennaio 2023.
5. Padovani R, Compagnone G, D'Ercole L, Orlacchio A, Bernardi G, De Ponti E, Marzola MC, Grande S, Palma A, Campanella F, Rosi A. *Livelli diagnostici di riferimento per la pratica nazionale di radiologia diagnostica e interventistica e di medicina nucleare diagnostica. Aggiornamento del Rapporto ISTISAN 17/33*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2020. (Rapporti ISTISAN 20/22 Rev.).
6. ICRP. International Commission on Radiological Protection. Publication 135. Diagnostic reference levels in medical imaging. *Ann ICRP.* 2017; 46(1).
7. Commission Recommendation (Euratom) 2026/403 of 23 February 2026 on the establishment, review and use of diagnostic reference levels for radiodiagnostic examinations and interventional radiology procedures C/2026/1015, Document 32026H0403. Official Journal of the European Union, ELI: http://data.europa.eu/eli/reco/2026/403/oj
8. D'Ercole L, Rosi A, G Bernardi G, Compagnone G, Orlacchio A, Padovani R, Palma A, Grande S. National survey to update the diagnostic reference levels in interventional radiology procedures in Italy: working methodology. *J Radiol Prot.* 2024;44:011505

2. METODI DI INDIVIDUAZIONE DEI LIVELLI DIAGNOSTICI DI RIFERIMENTO

2.1. Radiologia interventistica del paziente adulto

Nel seguente paragrafo sono descritte le procedure di radiologia interventistica di maggior interesse sia rispetto alla loro frequenza di esecuzione nelle strutture dell'SSN che rispetto ai livelli di esposizioni più elevati. Per alcune di queste procedure sono stati considerati anche gli indici di complessità. L'ICRP, infatti, raccomanda che per le procedure interventistiche, la complessità della procedura possa essere presa in considerazione nella definizione dei valori LDR e un fattore moltiplicativo per il valore LDR possa essere appropriato per i casi più complessi di una procedura (1).

2.1.1. Procedure di interesse per gli LDR in radiologia interventistica

Le procedure radiologiche per le quali si aggiornano gli LDR sono:
- Ablazione cardiaca con radiofrequenza (ablazioni semplici e complesse con e senza impiego di sistemi di Mappaggio Elettro-Anatomico, MEA);
- Angiografia cerebrale;
- Angioplastica e/o stenting coronarico (*Coronary Angiography + Percutaneous Coronary Intervention,* CA+PCI);
- Angioplastica percutanea transluminale (*Percutaneous Transluminal Angioplasty*, PTA) e/o stenting carotideo;
- Chemioembolizzazione arteria epatica (*TransArterial ChemoEmbolization*, TACE);
- Colangio Pancreatografia Retrograda Endoscopica (CPRE);
- Coronarografia (*Coronary Angiography*, CA);
- Embolizzazione aneurismi cerebrali;
- Impianto di endoprotesi aortiche per aneurisma (*EndoVascular Aneurysms Repair*, EVAR);
- Impianto di pacemaker (monocamerale, bicamerale, biventricolare e defibrillatore cardiaco impiantabile - *Implantable Cardioverter Defibrillator*, ICD);
- Impianto valvolare aortico transcatetere (*Transcatheter Aortic Valve Implantation*, TAVI);
- Interventistica biliare percutanea;
- Salvataggio d'arto;
- Shunt portosistemico intraepatico transgiugulare (*Transjugular Intra-hepatic Porto-systemic Shunt,* TIPS);
- Studi di elettrofisiologia.
- Trombectomia meccanica dell'ictus ischemico;
- Vertebroplastica;

Tali procedure sono quelle individuate nel *Rapporto ISTISAN* 20/22 Rev. (2) con l'aggiunta della procedura salvataggio d'arto.

Nello specifico le procedure di ablazione cardiaca con radiofrequenza sono state distinte tra ablazioni complesse (ablazione della fibrillazione atriale, tachicardia ventricolare o aritmie cardiache congenite complesse) e ablazioni semplici (tutte le altre procedure di ablazione a radiofrequenza).

Per le procedure di ablazione cardiaca a radiofrequenza è stata fatta anche una distinzione tra procedure eseguite con e senza sistemi di Mappaggio Elettro-Anatomico (MEA):
- Ablazione complessa senza MEA: crioablazione;
- Ablazione complessa con MEA: fibrillazione atriale/tachicardia ventricolare;
- Ablazione semplice senza MEA: *Atrioventricular Nodal Reentrant Tachycardia* (AVNRT) / *Atrioventricular Re-entry Tachycardia* (AVRT).

Dalle ablazioni complesse senza MEA sono escluse le procedure con elettroporazione.

Per gli impianti di pacemaker, a differenza di quanto riportato nel *Rapporto ISTISAN* 20/22 Rev. (2), i valori di LDR sono proposti a livello nazionale distinguendo le procedure di impianti di pacemaker /ICD in monocamerali, bicamerali e biventricolari.

Le procedure selezionate soddisfano i seguenti criteri:
- hanno una relativamente elevata frequenza di esecuzione;
- hanno una denominazione univoca;
- consentono di eseguire verifiche di LDR in una elevata percentuale di installazioni radiologiche;
- o, erogano una dose potenzialmente elevata.

Si ritiene che questi criteri di scelta facilitino, all'interno delle singole strutture sanitarie, la raccolta delle informazioni dosimetriche su un campione significativo di procedure al fine della verifica periodica degli LDR come richiesto dalla normativa. L'ipotesi, alla base della verifica periodica degli LDR su un numero ristretto di tipologie di procedure, è che se l'esposizione mediana del paziente è inferiore al relativo LDR per alcune frequenti procedure radiologiche, essa lo sarà anche per tutte le altre procedure eseguite dal medesimo personale con la medesima apparecchiatura radiologica.

2.2. Radiologia interventistica del paziente pediatrico

2.2.1. Procedure di interesse per gli LDR in radiologia interventistica

Per le procedure interventistiche pediatriche, non sono a disposizione valori di LDR derivanti da indagini nazionali e sono pochi i dati disponibili da indagini in altri Paesi europei prevalentemente inerenti alle procedure di cardiologia interventistica (3, 4, 5).

È opportuno, pertanto, incoraggiare lo sviluppo di LDR per le seguenti procedure cardiologiche pediatriche:
- chiusure di difetto del setto atriale (ASD);
- chiusure di dotto arterioso pervio (PDA);
- angioplastiche;
- stenosi della valvola polmonare (PVS) (dilatazione con palloncino);
- trattamenti del tratto di efflusso del ventricolo destro (PVR) (stenting RVOT, impianto percutaneo della valvola polmonare con e senza trattamento del ramo polmonare);
- procedure diagnostiche cardiologiche
- posizionamento di cateteri venosi centrali (CVC) o cateteri venosi centrali a inserzione periferica (PICC).

Se in una struttura fossero eseguite altre procedure interventistiche pediatriche, sarebbe opportuno definire valori tipici per i seguenti trattamenti:
- angiografia cerebrale con sottrazione digitale (DSA);
- embolizzazione malformazione arterovenosa cerebrale (bAVM);

- Scleroterapia di malformazioni vascolari e linfatiche del distretto testa-collo;
- Scleroterapia di malformazioni vascolari e linfatiche del distretto corporeo e periferico;
- Shunt porto-sistemico;
- Interventistica epato-biliare (colangiografia transepatica, portografia retrograda).

È noto che esistano diverse difficoltà nella definizione degli LDR per procedure interventistiche cardiologiche e non cardiologiche nei pazienti pediatrici, tra cui la complessità e l'eterogeneità delle procedure, la mancanza di una nomenclatura univoca, l'ampia fascia di età della popolazione pediatrica (fino a 18 anni) e la variabilità delle dimensioni dei pazienti. Non ultimo il numero limitato di procedure interventistiche pediatriche influisce sull'accuratezza degli LDR.

Come già proposto per il soggetto adulto, qualora non si raggiunga la numerosità indicata nell'Allegato XXVI del DL.vo 101/2020 (6), anche per le procedure pediatriche si indica come appropriata, ai fini della verifica degli LDR, la selezione, per la singola apparecchiatura radiologica, della prestazione pediatrica con il più alto numero di esami effettuati nel corso dell'anno di riferimento.

L'attuale esperienza molto limitata in materia di LDR nelle procedure di radiologia interventistica pediatrica non consente di determinare livelli specifici di complessità delle procedure. Tuttavia, quest'aspetto, al pari del paziente adulto, dovrebbe essere preso in considerazione così come suggerito dalla ICRP 135 (1) per le procedure interventistiche, e, nei casi più complessi, può essere opportuno applicare un fattore moltiplicativo al valore di LDR.

2.3. Medicina nucleare diagnostica del paziente adulto

Nel presente paragrafo sono descritte le procedure di medicina nucleare diagnostica di interesse per il paziente adulto, individuate sulla base della loro diffusione nella pratica clinica e della rilevanza dosimetrica ai fini della definizione degli LDR.

L'analisi è rivolta alle principali indagini scintigrafiche, SPECT e PET, incluse quelle eseguite in modalità ibrida con TC, considerando un adulto di corporatura normale, in accordo con le raccomandazioni nazionali ed europee, con l'obiettivo di garantire un adeguato equilibrio tra qualità diagnostica ed esposizione alle radiazioni ionizzanti.

2.3.1. Procedure di interesse per gli LDR in medicina nucleare diagnostica

Sono di seguito riportate le procedure di medicina nucleare diagnostica dell'adulto (corporatura normale) considerate nel presente documento ai fini dell'individuazione dei valori di LDR:

- Linfo-scintigrafia per la ricerca del linfonodo sentinella;
- PET cerebrale con traccianti per amiloide;
- PET cerebrale per lo studio del metabolismo glucidico;
- PET con traccianti per lo studio delle patologie neuro-oncologiche;
- PET con traccianti per lo studio delle patologie oncologiche;
- PET di perfusione miocardica;
- PET per lo studio della vitalità miocardica;
- PET per lo studio delle infezioni/infiammazioni;
- PET per lo studio delle paratiroidi;
- Scintigrafia delle infezioni/infiammazioni;
- Scintigrafia delle metastasi tiroidee;
- Scintigrafia delle paratiroidi;
- Scintigrafia di perfusione miocardica;

- Scintigrafia di perfusione polmonare;
- Scintigrafia ossea;
- Scintigrafia per lo studio dell'amiloidosi cardiaca;
- Scintigrafia renale sequenziale;
- Scintigrafia renale statica;
- Scintigrafia tiroidea;
- SPECT cerebrale con traccianti recettoriali presinaptici;
- SPECT cerebrale perfusoria;
- TC per correzione per l'attenuazione e/o localizzazione in imaging ibrido PET/TC o SPECT/TC.

Per la medicina nucleare diagnostica si sono presi a riferimento i seguenti documenti e linee guida:

- *Radiation Protection* (RP) 180 della Commissione Europea (7);
- raccomandazioni procedurali dalle linee guida dell'Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia (AIMN);
- linee guida della *European Association of Nuclear Medicine* (EANM).

La pubblicazione RP 180 (7) consiglia di fare riferimento, quando possibile, a valori di LDR proposti da organismi ufficiali europei, specie quando questi ultimi non siano vetusti e/o siano stati aggiornati relativamente di recente. In linea con questa indicazione, sono state prese a riferimento in questo documento le linee guida EANM, e in particolare, per ogni linea guida, l'ultima revisione proposta. A queste sono state affiancate le raccomandazioni procedurali e linee guida AIMN, che tengono conto delle linee guida europee e sono state recentemente revisionate in toto da un pool di esperti nazionali. I riferimenti bibliografici dettagliati sono inseriti nei capitoli di pertinenza. In aggiunta, sono stati riportati anche i valori di LDR derivati dal documento europeo RP180 (7).

2.4. Medicina nucleare diagnostica del paziente pediatrico

Nel seguente paragrafo sono descritte le procedure di medicina nucleare diagnostica di interesse per il paziente pediatrico, selezionate tenendo conto delle specificità cliniche, fisiologiche e dosimetriche proprie dell'età pediatrica, nonché della necessità di garantire l'ottimizzazione dell'esposizione a radiazioni ionizzanti.

Gli LDR in medicina nucleare diagnostica pediatrica sono espressi in termini di attività somministrata e derivano da raccomandazioni internazionali consolidate, che prevedono la modulazione dell'attività in funzione del peso corporeo e del radiofarmaco al fine di ottenere un'adeguata qualità diagnostica minimizzando l'esposizione radiologica (1).

2.4.1. Procedure di interesse per gli LDR in medicina nucleare diagnostica

La selezione degli esami diagnostici considerati ai fini dell'aggiornamento degli LDR è stata effettuata sulla base della rilevanza e dell'utilizzo nella pratica clinica.

In particolare, ai fini dell'aggiornamento degli LDR in medicina nucleare diagnostica pediatrica, il presente documento fa riferimento alle procedure diagnostiche tratte dalla *EANM dosage card* (8), adottata a livello europeo come documento per la definizione dei livelli di riferimento per le attività da somministrare nel paziente pediatrico.

Tali livelli costituiscono uno tra i principali strumenti di ottimizzazione delle procedure di medicina nucleare pediatrica, favorendo al contempo l'armonizzazione delle pratiche a livello nazionale ed europeo.

Sono di seguito riportate le procedure di medicina nucleare diagnostica pediatrica tratte da *EANM dosage card* (8) individuate ai fini dell'aggiornamento. Accanto ai traccianti sono specificate le procedure denominate in accordo con il nomenclatore nazionale, ove presenti.

- ^{123}I (scintigrafia tiroidea);
- ^{123}I anfetamine (scintigrafia cerebrale di flusso);
- ^{123}I HIPPURAN (funzione renale anormale);
- ^{123}I HIPPURAN (funzione renale normale);
- ^{123}I mIBG (scintigrafia surrenalica midollare);
- ^{131}I mIBG (scintigrafia surrenalica midollare);
- ^{18}F FDG-PET (PET globale corporea);
- ^{18}F FDG-PET (PET cerebrale);
- ^{18}F Fluoruro (PET globale corporea con altri radiofarmaci);
- ^{67}Ga Citrato
- ^{68}Ga-peptidi (PET globale corporea con altri radiofarmaci);
- ^{99m}Tc Albumina (scintigrafia cardiaca);
- ^{99m}Tc Colloidi (svotamento gastrico-reflusso gastro-esofageo);
- ^{99m}Tc Collodi (scintigrafia epatica/splenica);
- ^{99m}Tc Collodi (scintigrafia midollare);
- ^{99m}Tc DMSA (scintigrafia renale statica);
- ^{99m}Tc DTPA (funzione renale anormale);
- ^{99m}Tc DTPA (funzione renale normale);
- ^{99m}Tc ECD (SPECT cerebrale con tracciante di perfusione)
- ^{99m}Tc HMPAO (SPECT cerebrale con tracciante di perfusione)
- ^{99m}Tc HMPAO (scintigrafia globale corporea con leucociti marcati)
- ^{99m}Tc IDA (scintigrafia sequenziale epato biliare);
- ^{99m}Tc MAA / microsfere (scintigrafia polmonare di perfusione);
- ^{99m}Tc MAG3 (scintigrafia sequenziale renale);
- ^{99m}Tc MDP (scintigrafia ossea o articolare globale corporea);
- ^{99m}Tc pertecnetato (cistoscintigrafia);
- ^{99m}Tc pertecnetato (mucosa gastrica ectopica);
- ^{99m}Tc pertecnetato (scintigrafia miocardica first pass);
- ^{99m}Tc pertecnetato (scintigrafia tiroidea);
- ^{99m}Tc RBC (*blood pool*);
- ^{99m}Tc SestaMIBI/tetrofosmina (scintigrafia con indicatori positivi);
- ^{99m}Tc SestaMIBI/tetrofosmina (scintigrafia miocardica a riposo - protocollo 2 giorni min);
- ^{99m}Tc SestaMIBI/tetrofosmina (scintigrafia miocardica a riposo - protocollo 2 giorni max);
- ^{99m}Tc SestaMIBI/tetrofosmina (scintigrafia miocardica da stimolo fisico o farmacologico - protocollo 2 giorni min);
- ^{99m}Tc SestaMIBI/tetrofosmina (scintigrafia miocardica da stimolo fisico o farmacologico - protocollo 2 giorni max);
- ^{99m}Tc SestaMIBI/tetrofosmina (scintigrafia miocardica a riposo - protocollo 1 giorno);
- ^{99m}Tc SestaMIBI/tetrofosmina (Scintigrafia miocardica da stimolo fisico o farmacologico-protocollo 1 giorno);
- ^{99m}Tc Spleen (RBC denaturati);
- ^{99} Tc TECHNEGAS (ventilazione polmonare).

Bibliografia

1. International Commission on Radiation Protection. ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. *Ann ICRP*. 2017 Oct;46(1):1-144. doi: 10.1177/0146645317717209.
2. Padovani R, Compagnone G, D'Ercole L, Orlacchio A, Bernardi G, De Ponti E, Marzola MC, Grande S, Palma A, Campanella F, Rosi A. *Livelli diagnostici di riferimento per la pratica nazionale di radiologia diagnostica e interventistica e di medicina nucleare diagnostica. Aggiornamento del Rapporto ISTISAN 17/33*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2020. (Rapporti ISTISAN 20/22Rev).
3. Giannone A, De Monte F, Colangelo M, Di Salvo G, Fraccaro C, Sirico D, Paiusco M, Castaldi B. Standardized diagnostic reference levels for paediatric interventional cardiology: Data from an Italian referral centre. *Phys Med.* 2024;124:104487. doi: 10.1016/j.ejmp.2024.104487.
4. Habib Geryes B, Bondet De La Bernardie S, Hascoet S, Geant C, Dauphin C, Douchin S, Rousseau J, Godart F, Pontvianne V, Ovaert Reggio C, Lefort B, Danvin A, Caer-Lorho S, Bernier MO, Bonnet D, Rage E. Diagnostic Reference Levels in pediatric interventional cardiology: A multicenter study by the French cohort in HARMONIC project. *PLoS One.* 2025;20(9):e0332241. doi: 10.1371/journal.pone.0332241.
5. Teles P, Costa R, Bettio T, Pinheiro T, Loupa T, Santos J, Pinto F, Gil OM, Ferrari P, Zankl M. Local DRL estimation and effective dose calculation in paediatric interventional cardiology using measurements and Monte Carlo simulations. *Phys Med.* 2025;135:105023. doi: 10.1016/j.ejmp.2025.105023.
6. Italia. Decreto Legislativo 31 luglio 2020, n. 101. Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117. *Gazzetta Ufficiale* n. 201 - Supplemento Ordinario n. 29/L, 12 agosto 2020.
7. European Commission. *Radiation Protection 180: Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European countries: Part 2 of 2. Directorate-General for Energy Directorate D — Nuclear Safety & Fuel Cycle Unit D3 — Radiation Protection*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2014.
8. European Association of Nuclear Medicine. *Dosage card (version 5/7/2016)*. Vienna: EANM; 2016. Disponibile all'indirizzo: https://eanm.org/wp-content/uploads/2024/05/EANM_Dosage_Card_040214.pdf, ultima consultazione 30/07/2026

3. INDAGINI DOSIMETRICHE IN ITALIA E IN ALCUNI PAESI EUROPEI ED EXTRAEUROPEI

3.1. Radiologia interventistica

3.1.1. Grandezze dosimetriche per gli LDR

Le grandezze utili al monitoraggio dell'esposizione del paziente e alla definizione degli LDR nelle procedure interventistiche con guida fluoroscopica sono:

- *Tempo di fluoroscopia (TF)*
  Esso è spesso utilizzato in prima approssimazione come indicatore della complessità della procedura o dell'esperienza dell'operatore; considerato da solo, non può essere utilizzato come descrittore di dose al paziente.
- *Prodotto Kerma in Aria-Area (P_{KA} o KAP)*
  Espresso in $Gycm^2$ (oppure a seconda dei diversi produttori in $mGycm^2$, $cGycm^2$ o μGym^2), indicato anche come DAP (*Dose Area Product*) o KAP (*Air Kerma Area Product*), è un importante indicatore di dose al paziente in quanto correlato con gli effetti stocastici della radiazione.
- *Kerma in aria di riferimento (reference air Kerma, $K_{a,r}$) o Kerma in aria cumulativo, al punto di riferimento interventistico* (*Interventional Reference Point,* IRP)
  Espresso in Gy o mGy, è utilizzato per monitorare in tempo reale la dose al paziente in quanto fornisce un'indicazione della possibile massima dose cutanea. Il punto di riferimento interventistico è posto sull'asse del fascio di raggi X a 15 cm dall'isocentro dell'arco a C verso il tubo radiogeno. Il $K_{a,r}$, in quanto kerma in aria incidente, non include la radiazione retrodiffusa dal paziente, inoltre, non tiene conto della componente geometrica, né dello scattering in avanti, non considera l'attenuazione della radiazione dovuta al lettino e al materassino e il coefficiente di conversione tra kerma in aria e dose assorbita alla cute; si fa notare, ad esempio, che la sola radiazione retrodiffusa contribuisce per il 20-40% al kerma in aria in ingresso alla cute (1). Questa grandezza viene anche comunemente impiegata per definire i livelli di allerta (*trigger level*) utili per avvertire l'operatore che la procedura sta impartendo al paziente valori di dose alla cute superiori alle soglie per i danni cutanei da radiazione.

L'esposizione del paziente pediatrico si esprime con le medesime grandezze dosimetriche utilizzate per la radiologia dell'adulto.

Data l'ampia variabilità del corpo del paziente pediatrico in funzione dell'età e del peso corporeo, i valori di dose sono conseguentemente distribuiti in intervalli molto ampi. Pertanto, per le procedure interventistiche pediatriche è opportuno che i valori di dose siano sempre correlati a parametri fisici quali il peso e l'altezza del paziente, che dovrebbero essere registrati e resi disponibili per le valutazioni dosimetriche.

I dati relativi all'esposizione nelle procedure interventistiche pediatriche cardiologiche e non cardiologiche nei pazienti pediatrici sono spesso scarsi e limitati, anche considerato la ampia variabilità di peso e altezza del soggetto pediatrico. Nel presente documento i valori di LDR pediatrici sono riportati anche per intervalli di età, al fine di semplificare la stima e il confronto degli LDR locali con quelli di riferimento.

Questa semplificazione può non sempre rappresentare i reali livelli di esposizione del paziente pediatrico, richiedendo una casistica ampia e una raccolta dei dati relativi a tutte le procedure interventistiche eseguite (non solo a un campione limitato), e pertanto ai fini del confronto con gli LDR proposti si dovrà sempre prestare attenzione alle caratteristiche del campione di pazienti presi a riferimento.

Ai fini del confronto dei valori di LDR espressi per classi d'età o classi di peso, la Tabella 3.1 riporta le corrispondenze approssimate e utilizzate nella linea guida europea RP 185 (2).

Tabella 3.1. Classi d'età e corrispondenza approssimata con le classi di peso ai fini del confronto dei valori di LDR per la radiologia pediatrica (2)

Fascia d'età	Classi di peso	Gruppi d'età basati sulle tabelle peso-età	Età comunemente utilizzata per esprimere LDR
Neonato	< 5 kg	< 1 m	0 a
Infante	5 - <15 kg	1 m - <4 a	1 a
Bambino	15 - <30 kg	4 a - <10 a	5 a
Adolescente giovane	30 - <50 kg	10 a - <14 a	10 a
Adolescente	50 - <80 kg	14 a - <18 a	15 a

m: mese; a: anno

Per ovviare al problema riguardante la numerosità necessaria per avere dati consistenti nei diversi gruppi di peso o età dei pazienti pediatrici, l'indicatore dosimetrico può essere presentato come funzione del parametro utilizzato per il raggruppamento dei pazienti (peso o altezza), ovvero per definire una curva LDR come mostrato ad esempio nella Figura 3.1 per le procedure diagnostiche cardiologiche pediatriche.

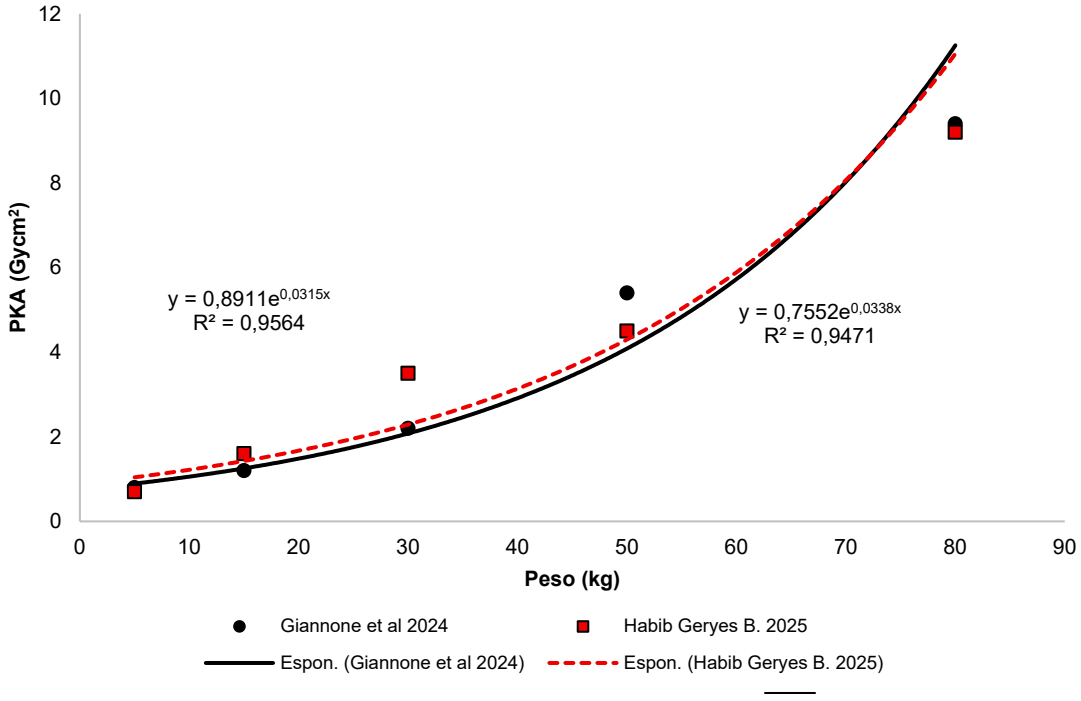


Figura 3.1. Curva LDR per diagnostica cardiologica ottenuta elaborando i valori di LDR locali tratti da letteratura (3, 4)

La curva è stata ottenuta adattando con una funzione esponenziale i valori di LDR locali (3, 4), suddivisi per classe di peso. Questo metodo è particolarmente utile per le strutture con un numero limitato di pazienti pediatrici. Per il confronto con la curva LDR di riferimento, ogni struttura può raccogliere i dati di almeno 10 pazienti consecutivi per procedure diagnostiche o interventistiche semplici e di almeno 20 pazienti consecutivi per procedure interventistiche complesse, senza distinzione di età, altezza o peso, e riportarli nel grafico della curva LDR. Esempi di procedure interventistiche pediatriche sono riportate nella Tabella 3.2. La curva LDR di riferimento è definita quando sono disponibili valori di LDR locali o nazionali per tutte le classi di peso relative alla procedura considerata. Se la maggior parte dei dati della struttura risulta al di sotto della curva di riferimento, la struttura può essere considerata conforme ai valori di LDR di riferimento (5).

Per le procedure di cateterismo cardiaco e di cardiologia interventistica potrebbe essere necessario avere un campione più ampio di pazienti a causa delle grandi differenze di complessità e durata delle procedure; tuttavia, per raccomandare il numero minimo per queste procedure, sono necessari ulteriori studi.

Tabella 3.2. Esempi di procedure pediatriche di radiologia interventistica

Tipologia	Procedure
Semplici	• chiusura di difetto del setto atriale (ASD) • chiusura di dotto arterioso pervio (PDA) • scleroterapia di malformazioni va-scolari e linfatiche del distretto testa-collo • scleroterapia di malformazioni vascolari e linfatiche del distretto corporeo e periferico • procedure diagnostiche cardiologiche • angiografia cerebrale con sottrazione digitale (DSA) • portografia retrograda • posizionamento CVC o PICC
Complesse	• angioplastica • colangiografia transepatica • embolizzazione malformazione arte-rovenosa cerebrale (bAVM) • shunt porto-sistemico • stenosi della valvola polmonare (PVS) (dilatazione con palloncino) • trattamenti del tratto di efflusso del ventricolo destro (PVR) (stenting RVOT, impianto percutaneo della valvola polmonare con e senza trat-tamento del ramo polmonare)

3.1.2. Valori di LDR per l'adulto da indagini nazionali ed europee

L'indagine nazionale, coordinata dall'ISS e dalla Fondazione IRCCS San Matteo di Pavia (indagine nazionale ISS-San Matteo), ha coinvolto 53 strutture dell'SSN distribuite su tutto il territorio (6). I Centri selezionati hanno fornito le informazioni dettagliate in Tabella 3.3. I dati raccolti sono stati verificati prima dell'analisi per escludere quelli che non soddisfacevano i criteri di inclusione o qualsiasi procedura con informazioni mancanti.

La Tabella 3.4 riporta, per ciascuna procedura, il numero di esami, il numero di centri che hanno contribuito alla raccolta dati, il numero di apparecchiature radiologiche e le caratteristiche demografiche e cliniche della popolazione studiata.

La Tabella 3.5 riporta i valori di LDR, ricavati come 75° percentile dei valori mediani delle installazioni (7), per la radiologia interventistica dell'adulto, desunti dalla letteratura, comprendenti sia valori di LDR italiani, ottenuti in indagini nazionali che hanno coinvolto un numero significativo di centri, sia valori di LDR adottati in alcuni Paesi europei e comunque derivanti da indagini nazionali o valori raccomandati a livello europeo. Per la sola procedura TIPS è stato calcolato il valore tipico in quanto il numero di centri che ha contribuito alla raccolta dati è inferiore a 10.

Tabella 3.3. Dettaglio dei dati richiesti nell'indagine nazionale ISS-San Matteo (6)

Categoria	Dati richiesti	Unità di misura/opzione di risposta
Dati del paziente	Età	anni
	Sesso	maschio/femmina
	Peso	kg
	Altezza	cm
Parametri di esposizione	Tempo di fluoroscopia	minuti; secondi
	DAP cumulativo (KAP, P_{KA})	$Gycm^2$; $mGycm^2$; $cGycm^2$; μGym^2; altro
	Kerma cumulativo ($K_{a,r}$)	mGy; Gy; cGy; altro
	Acquisizione 3D	sì/no
Dati delle macchine radiologiche	Modello	
	Installazione	anno
	Aggiornamento	anno
	Tecnologia di riduzione della dose	sì/no
Dati generali	Raccolta dati eseguita con ausilio dei sistemi di monitoraggio della dose	sì/no
	Accuratezza indicatori di kerma entro ±35%	sì/no

Tabella 3.4. Numero di esami, centri, apparecchiature radiologiche e caratteristiche demografiche e cliniche della popolazione studiata nell'indagine nazionale ISS-San Matteo (6) per ciascuna procedura selezionata

Procedura	Esami n.	Centri n.	AR n.	M	F	Età (media ±DS)	BMI mediana (kg/m^2)*
Ablazione complessa con MEA	329	16	17	87	242	57±18	26 (181)
Ablazione complessa senza MEA	182	10	10	63	119	60±12	27,3 (116)
Ablazione semplice con MEA	273	14	15	114	159	53±19	24,7 (146)
Ablazione semplice senza MEA	170	9	10	75	95	64±14	24,6
Angiografia cerebrale	663	18	19	282	381	56±17	-
CA	1514	34	40	535	979	69±12	25,7
CA+PTCA	1355	31	35	306	1049	69±11	25,7
CPRE	508	12	12	282	226	72±14	25,3 (132)
Drenaggio biliare percutaneo	881	24	26	501	378	69±15	23,4 (380)
Embolizzazione aneurisma cerebrale	557	17	18	164	393	60±13	-
EVAR	422	10	12	336**	41**	77±7	25,7 (174)
Impianti bicamerali	572	26	28	199	372	78±36	25,6 (291)
Impianti biventricolari	406	19	20	104	286	72±11	26 (250)
Impianti monocamerali	483	23	24	172	311	78±13	25,1 (278)
PTA e/o stenting carotideo	446	12	13	302	144	72±11	24,2 (174)
Salvataggio d'arto	555	14	15	383	172	74±11	25,3 (255)
Studi di elettrofisiologia	424	14	14	166	257	57±20	25,4 (319)
TACE	392	12	13	84	308	69±10	24,9 (221)
TAVI	655	16	17	352	303	81±7	24,4
TIPS	105	7	8	57**	31**	54±16	-
Trombectomia meccanica per ictus	681	18	21	333	344	73±13	-
Vertebroplastica	344	10	10	117	227	72±11	24,3 (138)

AR: Apparecchiature Radiologiche; M: Maschio; F: Femmina
* in parentesi il n. pazienti per i quali è stato fornito il BMI; ** un centro non ha fornito dati relativi al sesso e all'età

I valori degli LDR riportati in Tabella 3.5, in generale, non tengono conto del livello di complessità della procedura interventistica e il confronto viene effettuato con dati di letteratura pubblicati dopo il 2016. L'ICRP (7) raccomanda di confrontare il valore mediano dei valori di dose di un campione di procedure con il relativo valore di LDR ottenuto come il valore del 75° percentile della distribuzione di valori mediani nazionali.

Tabella 3.5. Valori di LDR per la radiologia interventistica dell'adulto e relativi riferimenti bibliografici (tra parentesi) per indagini nazionali e di altri Paesi europei, successivi al 2016. In grassetto i valori dell'indagine nazionale ISS-San Matteo

Procedure	Indagini nazionali			Indagini in altri Paesi europei			
	KAP *Gycm²*	TF min	$K_{a,ref}$ *Gy*	KAP *Gycm²*	TF min	Immagini n.	$K_{a,ref}$ *Gy*
Angiografia cerebrale	**191** (9) 160 (11) 112,3 (12) 159 (14)	**18** (9) 10 (11) 9,3 (12) 10 (14)	**1,250** (9) 1,401 (14)	150 (10) 90 (8) 105 (13)[a]	15 (10) 11 (8) 13 (13)[a]	400 (10) 400 (8)	0,630 (8)
Embolizzazione aneurisma cerebrale	**252** (9) 180 (11) 178,9 (12)	**55** (9) 45 (11) 42,9 (12)	**2,875** (9)	185 (8) 190 (13) 250 (15) 200 (16)	58 (8) 58 (13) 54 (15)	1050 (8)	2,765 (8)
Trombectomia meccanica dell'ictus ischemico	**169** (9) 189 (9) biplano 190 (11)	**33** (9) 36 (9) biplano	**1,150** (9) 1.035 (9) biplano	180 (15) 140 (16) 187 (17)[b] 235 (17)[c] 148 (17)[d]	35 (15)		1,210 (17)[b] 1,700 (17)[c] 0,730 (17)[d]
PTA e/o stenting carotideo	**62** (18) 100 (11) 104,8 (12)	**24** (18) 20 (11) 20,1 (12)	**0,349** (18)				
TACE	**255** (18) 390 (11) 388,9 (12)	**30** (18) 20 (11) 20 (12)	**1,690** (18)	303 (19) 300 (13) 300 (10) 230 (15) 241 (20) 200 (16) 247,7 (21) 127 (22)	26,3 (19) 20 (13) 20 (10) 25 (10) 18 (20) 20,6 (21)	245 (19) 200 (10)	1,867 (20) 1,131 (21)
CPRE	**18** (18) 30 (11)	**5** (18) 10 (11)	**0,133** (18)	30 (10) 45 (23) 25 (15) 20 (16) 11 (24)[e]	10 (10) 6 (24)[e]		
Interventistica biliare percutanea	**45** (18) 45 (11)	**13** (18) 15 (11)	**0,272** (18)	30 (19) 35 (8) 45 (13)[f] 43 (15) 22 (20) 20,2 (21)	17,3 (19) 16 (8) 18 (13)[f] 10 (20) 7,2 (21)		0,194 (20) 0,1488 (21)
Vertebroplastica	**91** (18) 80 (11)	**14** (18) 15 (11)	**1,115** (18)	70 (8) 80 (10) 60 (13)[g]	11(8) 15 (10) 9 (13)[g]	75 (10)	0,770(8)
Salvataggio d'arto	**24** (18)	**25** (18)	**0,129** (18)				
EVAR	**134** (18) 160 (11) 104,8 (14)	**21** (18) 18 (11)	**0,720** (18)	158,49 (25) 230 (15)[h] 278 (fissi) (26)[i] 87 (mobili) (26)[j] 200 (16) 160 (27) 103 (22)			1,403 (fissi) (26)[i] 0,292 (mobili)(26)[j]
TIPS – valore tipico	229 (18)	26 (18)	0,652 (18)	190 (13) 312 (21)	39 (13) 32,1 (21)		1,3677 (21)

Procedure	Indagini nazionali			Indagini in altri Paesi europei			
	KAP *Gycm²*	TF min	$K_{a,ref}$ *Gy*	KAP *Gycm²*	TF min	Immagini n.	$K_{a,ref}$ *Gy*
CA	**38**[k] (28) **28**[l] (28) 35 (11) 33 (14)	**5**[k] (28) **5**[l] (28) 4 (11) 4 (14)	**0,473**[k] (28) **0,366**[l] (28)	35 (29) 38 (13) 28 (15) 39 (26) 28 (30) 26 (22) 24 (10)	6 (13) 6,7 (26) 11 (30) 6 (10)	548 (10)	0,460 (29) 0,530 (26) 0,322 (10)
CA+PCI	**89** (28) 95 (11) 94 (14)	**19**(28) 14 (11) 14 (14)	**1,462** (28)	80 (8) 85 (29) 80 (13)[m] 78 (26) 75 (31) 55 (15) 55 (30) 40 (16) 50 (22)[n] 68 (22)[o] 45 (10)	15 (8) 15 (13)[m] 15 (26) 10 (30) 14 (10)	1130 (10)	1,273 (8) 1,200 (29) 1,319 (26) 0,880 (10)
TAVI	**184** (28) 130 (11)	**28** (28) 30 (11)	**1,293** (28)	130 (29) 38 (10) 80 (15) 174 (32) 90 (22)	15 (10) 18 (15)	450 (10)	0,320 (10) 1,220 (32)
Impianti PM ICD							
monocamerali	**11**[p] (28) 8[q] (28)	**4**[p] (28) 4[q] (28)	**0,049**[p] (28) 0,034[q] (28)	2,5 (29) 3,5 (31)[r] 8 (24)[s] 9 (16) 3,3 (22)[t] 1,3 (24)[u]	6,7 (31)[r] 5 (24)[s]		0,030 (29)
bicamerali	**18** (28)	**5** (28)	**0,086** (28)	17 (16) 4,0 (22)[v] 6,3 (22)[w]			
biventricolari	**68** (28)	**19** (28)	**0,482** (28)	33 (24)[e] 88 (33) 49 (16)	23 (24)[e] 27 (33)		
Ablazione cardiaca con radiofrequenza							
semplice senza MEA	**14** (28)	**14** (28)	**0,188** (28)	16 (24)[e] 6 (31)	16 (24)[e] 13,3 (31)		
semplice con MEA	**15** (28)	**6** (28)	**0,088** (28)	16 (24)[e]	16 (24)[e]		
complessa senza MEA	**52** (28)	**34** (28)	**0,359** (28)	34 (24)[x]	29 (24)[x]		
complessa con MEA	**38** (28)	**15** (28)	**0,167** (28)	16 (31) 34(24)[x]	23,1 (31) 29 (24)[x]		
Studi di elettrofisiologia	**12** (28) 20 (11)	**5** (28) 10 (11)	**0,037** (28)	2 (10) 12 (29)[y] 5 (24)[e] 5,2 (34)	5 (10) 5 (24)[e]	30 (10)	0,031 (10) 0,070 (29)

[a] tre o più arterie cerebrali
[b] procedure eseguite con sistemi biplano con e senza sistemi di riduzione della dose
[c] procedure eseguite con sistemi biplano senza riduzione di dose
[d] procedure eseguite con sistemi biplano e con sistemi di riduzione di dose
[e] procedure eseguite solo con archi a C mobili
[f] con posizionamento della protesi, per via transcutanea
[g] una vertebra
[h] aorta toracica, aorta addominale sottorenale, aorta addominale soprarenale
[i] procedure eseguite in sale ibride
[j] procedure eseguite con archi a C mobili
[k] riferito a tutte le apparecchiature
[l] riferito alle apparecchiature con sistemi di riduzione della dose
[m] eccetto per occlusione totale cronica (OTC)
[n] PTCA di singolo vaso
[o] multi vessel
[p] riferito a tutte le apparecchiature
[q] riferito alle apparecchiature con sistemi di riduzione della dose
[r] impianti PM monocamerali o bicamerali
[s] pacemaker monocamerale o bicamerale
[t] pacemaker monocamerale
[u] Defibrillatore cardioverter impiantabile (ICD) monocamerale
[v] PM bicamerale
[w] Defibrillatore cardioverter impiantabile (ICD) bicamerale
[x] trattamento aritmie cardiache complesse
[y] senza ablazione

Bisogna fare attenzione al fatto che alcuni valori di LDR utilizzati e/o presenti in letteratura sono derivati utilizzando la metodica precedentemente raccomandata dalla ICRP, ovvero il valore di LDR era ottenuto come il valore del 75° percentile della distribuzione di tutti i dati del campione nazionale di installazioni radiologiche.

Alcuni studi hanno valutato l'entità della variazione del valore di LDR calcolato con le due metodologie (8) lo scarto tra i livelli di riferimento calcolati con i due metodi, in radiologia interventistica, è inferiore al 20% ad eccezione del tempo di fluoroscopia per le embolizzazioni di aneurisma cerebrale (stimato intorno al 27%) e in cardiologia interventistica è inferiore al 30%.

3.1.2.1. Complessità

La complessità della procedura interventistica può dipendere dalla severità della patologia trattata e/o dalla anatomia del paziente, conseguentemente la dose impartita al paziente mostra ampie variabilità. Nel settore della interventistica, ove possibile, è opportuno specificare la complessità delle procedure e si dovrebbero adottare valori di LDR graduati. Se la complessità non viene valutata e riportata, si può supporre che i dati raccolti corrispondano a una complessità media (35). Dall'analisi statistica dei dati raccolti nell'ambito dell'indagine nazionale ISS-San Matteo è emerso che l'esposizione del paziente dipende dai parametri clinici e tecnici individuati in modo statisticamente significativo solo per le seguenti procedure:

- CA+PTCA;
- TACE;
- EVAR;
- angiografia cerebrale;
- embolizzazione aneurisma cerebrale;
- trombectomia meccanica per trattamento ictus.

I fattori di complessità individuati per tali procedure sono dettagliati nella Tabella A1 in Appendice A. Per tali procedure viene fornito un valore di LDR riferito a tutte le procedure senza considerare la complessità (*vedi* Tabella 4.1 in Capitolo 4) e, per il solo parametro KAP, i valori relativi alle tre classi di complessità ovvero semplice, media e alta.

Per completezza, in Tabella 3.6 si riportano i valori di LDR derivati dalla letteratura proposti in funzione del "parametro clinico di complessità" individuato o di un "indice di complessità" (creato nel caso di più parametri clinici di complessità) per l'angiografia cerebrale (8), l'interventistica biliare percutanea senza o con endoprotesi (8), la vertebroplastica (8), la chemioembolizzazione epatica (19), il drenaggio biliare (19), le EVAR (16, 27, 36), il salvataggio d'arto (24) e la rivascolarizzazione femoroplitea (19, 24, 37). Il documento della Health Security Agency inglese (27) fornisce i valori di LDR oltre che per le EVAR anche per le endoprotesi dell'aorta toracica (TEVAR) e per le procedure complesse con endoprotesi fenestrate o ramificate (FEVAR e BEVAR).

3.1.3. Valori di LDR per il paziente pediatrico da indagini nazionali ed europee

Per le procedure interventistiche pediatriche, non sono disponibili valori di LDR derivanti da indagini nazionali e sono pochi i dati derivati da indagini in altri Paesi europei e internazionali. I dati di letteratura sono riferiti prevalentemente a procedure interventistiche in ambito cardiologico e i valori di LDR sono stati stimati secondo quanto suggerito nel documento RP185 (2). Tuttavia, tenuto conto della esiguità numerica delle procedure interventistiche pediatriche, della necessità di stratificare tali procedure per classi di età o di peso e la variabilità di incidenza nelle diverse fasce di età della patologia pediatrica, si ritiene utile fornire alcune preliminari informazioni per agevolare i singoli centri nella verifica dei propri LDR locali.

Tabella 3.6. Valori di LDR derivati da letteratura (rif.) e proposti in funzione del "parametro clinico di complessità" individuato o di un "indice di complessità" creato nel caso di più parametri clinici di complessità

Procedura	Valori LDR - indagini in altri Paesi europei				
	KAP *Gycm²*	Tempo fluoroscopia min	Immagini n.	$K_{a,ref}$ *Gy*	Rif.
Angiografia cerebrale					
Angiografia cerebrale (tutte)	90	11	400	0,630	(8)
1 arteria cerebrale	30	4	305	0,220	
2 arterie cerebrali	70	7	320	0,430	
3 o più arterie cerebrali	100	13	460	0,720	
Interventistica biliare percutanea					
Interventistica biliare percutanea (tutte)	35	16	10	0,255	(8)
senza endoprotesi	30	15	3	0,145	
con endoprotesi	45	18	11	0,310	
Vertebroplastica					
Vertebroplastica (tutte)	70	11	365	0,750	(8)
1 vertebra	60	9	365	0,610	
2 vertebre	60	10	325	0,630	
3 o più vertebre	110	14	370	1,150	
Chemioembolizzazione epatica					
bassa complessità	170				(19)
media complessità	303				
alta complessità	881				
Drenaggi biliari					
bassa complessità	10				(19)
media complessità	30				
alta complessità	141				
EVAR					
standard (addominale)	185			1,100 *	(36)
complessa (addominale e pelvica)	350			2,210 *	
semplici	200				(16)
fenestrate	300				
standard (addominale)	160				(27)
TEVAR	180				
FEVAR/BEVAR	270				
Salvataggio d'arto (con unità mobili)					
Arteriografia estremità inferiori	12	25			(24)
Dilatazione arteria femorale	6	11			
Dilatazione arteria femorale con stent	11	17			
Dilatazione arteria iliaca con stent	22	13			
Rivascolarizzazione femoropoplitea					
bassa complessità	170				(19)
media complessità	303				
alta complessità	881				
bassa complessità**	12	12,3	59,1		(37)
media complessità**	28	17,9	112		
alta complessità**	84	30,6	387,7		

* I valori di $K_{a,r}$ riferiti alle EVAR sono il 75° percentile delle relative distribuzioni di dose a differenza dei valori di KAP riportati come LDR.

** i valori riferiti alla rivascolarizzazione femoro-poplitea sono il 75° percentile delle distribuzioni dei tre indicatori.

3.1.3.1. Procedure interventistiche cardiologiche pediatriche

Nella Tabella 3.7 si riportano per le procedure interventistiche terapeutiche cardiologiche i valori di LDR derivati da uno studio monocentrico italiano (3), da uno studio multicentrico francese (4) e da uno studio monocentrico portoghese (38).

Tabella 3.7. Valori mediani e *Local DRL* (in grassetto) per procedure interventistiche terapeutiche cardiologiche in ambito pediatrico e riferimenti bibliografici (Rif.)

Peso (kg)	Procedure	Studio monocentrico Italia (3)				Studio multicentrico Francia (4)			Studio monocentrico Portogallo (38)	
		P_{KA} (Gy*cm^2)	$K_{a,r}$ (mGy)	FT (min)	P_{KA}/BW (Gy*cm^2/kg)	P_{KA} (Gy*cm^2)	$K_{a,r}$ (mGy)	FT (min)	P_{KA} (Gy*cm^2)	$K_{a,r}$ (mGy)
< 5	Angioplastica aortica	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Chiusura ASD	-	-	-	-	0,5	-	6,6	-	-
	Chiusura PDA	0,3	8	12	0,11	**0,1**	-	**5,5**	-	-
	Dilatazione valvola polmonare	**0,4**	**12**	11	0,08	**0,3**	-	**9,1**	-	-
	Trattamenti tratto efflusso ventricolo dx	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PTCA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5-<15	Angioplastica aortica	**3,5**	**53**	33	0,27				-	-
	Chiusura ASD	-	-	-	-	1,1	-	6,7	-	-
	Chiusura PDA	**0,7**	**12**	6,6	0,05	**0,7**	-	**5,0**	-	-
	Dilatazione valvola polmonare	**1,3**	**19**	16	0,095	**0,8**	-	**7,3**	-	-
	Trattamenti tratto efflusso ventricolo dx	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PTCA	-	-	-	-	-	-	-	**2,3**	**49**
15-<30	Angioplastica aortica	**5,4**	**55**	22	0,17	-	-	-	-	-
	Chiusura ASD	**1,1**	**11**	8	0,039	**0,6**	-	**4,6**	-	-
	Chiusura PDA	**1,5**	**20**	8	0,05	**1,0**	-	**5,0**	-	-
	Dilatazione valvola polmonare	1,7	22	10	0,077	1,5	-	6,5	-	-
	Trattamenti tratto efflusso ventricolo dx	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	PTCA	-	-	-	-	-	-	-	**6,7**	**100**
30-<50	Angioplastica aortica	6,2	53	16	0,17	-	-	-	-	-
	Chiusura ASD	**2,2**	**19**	7	0,035	**3,1**	-	**6,0**	-	-
	Chiusura PDA	1,5	12	9	0,046	**3,1**	-	**6,0**	-	-
	Dilatazione valvola polmonare	-	-	-	-	4,6	-	8,3	-	-
	Trattamenti tratto efflusso ventricolo dx	8,2	75	31	0,24	-	-	-	-	-
	PTCA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50-<80	Angioplastica aortica	**20**	**180**	24	0,210	-	-	-	-	-
	Chiusura ASD	**5,2**	**44**	7	0,041	9,1	-	9,6	-	-
	Chiusura PDA	-	-	-	-	9,1	-	9,6	-	-
	Dilatazione valvola polmonare	-	-	-	-	11,7	-	14,1	-	-
	Trattamenti tratto efflusso ventricolo dx	6,0	52	12	0,093	-	-	-	-	-
	PTCA	-	-	-	-	-	-	-	23,9 *	297*

*75 percentile su 13 pazienti

I valori riportati in grassetto in Tabella 3.7 fanno riferimento a gruppi di almeno 20 pazienti e sono proposti dagli autori come *Local DRL* in accordo con la definizione di RP 185 (2) nei due studi monocentrici e come LDR nel multicentrico; quelli non in grassetto sono valori mediani riferiti a gruppi di almeno 10 pazienti.

Nella Tabella 3.8 si riportano per le procedure diagnostiche cardiologiche in ambito pediatrico i valori di *Local DRL* derivati da uno studio monocentrico italiano (3) e da uno studio monocentrico portoghese (38) e i valori di LDR derivati da uno studio multicentrico francese (4). I valori riportati in grassetto in Tabella 3.8 fanno riferimento a gruppi di almeno 20 pazienti e sono proposti come *Local DRL* in accordo con la definizione di RP 185 (2) nei due studi monocentrici e come LDR nel multicentrico; quelli non in grassetto sono valori mediani riferiti a gruppi di almeno 10 pazienti. I dati riportati evidenziano la variabilità dei parametri di esposizione e il potenziale di ottimizzazione e di armonizzazione delle pratiche interventistiche cardiologiche pediatriche.

Tabella 3.8. Valori mediani e *Local DRL* (in grassetto) per procedure diagnostiche cardiologiche in ambito pediatrico e riferimenti bibliografici (Rif.)

Procedure	Peso (kg)	Studio monocentrico Italia (3)*				Studio multicentrico Francia (4)			Studio monocentrico Portogallo (38)		
		P_{KA} (Gy*cm^2)	$K_{a,r}$ (mGy)	FT (min)	P_{KA}/BW (Gy*cm^2/kg)	P_{KA} (Gy*cm^2)	$K_{a,r}$ (mGy)	FT (min)	P_{KA} (Gy*cm^2)	$K_{a,r}$ (mGy)	FT (min)
Procedure diagnostiche	<5	**0,8**	**17**	18	0,16	**0,7**	-	**7,8**	-	-	-
	5 - <15	**1,2**	**17**	12	0,094	**1,6**	-	**8,4**	-	-	-
	15 - <30	**2,2**	**22**	11	0,078	**3,5**	-	**7,8**	-	-	-
	30-<50	**5,4**	**52**	8	0,072	**4,5**	-	**8,1**	-	-	-
	50-<80	**9,4**	**110**	11	0,088	**9,2**	-	**5,8**	-	-	-
Corona-rografia	<5	-	-	-	-	0,5	-	3,2	-	-	-
	5 - <15	-	-	-	-	1,0	-	2,4	**1,5**	**19**	-
	15 - <30	-	-	-	-	**1,9**	-	**4,1**	-	-	-
	30-<50	-	-	-	-	**4,8**	-	**7,2**	-	-	-
	50-<80	-	-	-	-	14,6	-	6,3	-	-	-

* In questo studio sono considerate le procedure: cateterismi del cuore destro, destro+sinistro e coronarografie

3.1.3.2. Procedure interventistiche neuroradiologiche pediatriche

Per le procedure di radiologia interventistica pediatrica non-cardiologica sono stati pubblicati alcuni studi che propongono LDR per procedure di neurointerventistica (39, 40) quali l'angiografia cerebrale con sottrazione digitale (DSA), l'embolizzazione delle malformazioni artero-venose (MAV) cerebrali e la scleroterapia percutanea delle malformazioni vascolari superficiali del distretto testa-collo oltre che la IAC del retinoblastoma.

I pazienti sono stati riuniti in gruppi in funzione dell'età come riportato in Tabella 3.9.

3.1.3.3. Procedure interventistiche pediatriche del distretto corporeo e periferico

Per le procedure di radiologia interventistica periferica e toraco-addominale in ambito pediatrico sono stati recentemente pubblicati alcuni studi (41-43) che propongono LDR per posizionamento di CVC (42), scleroterapia percutanea di malformazioni vascolari linfatiche del distretto corporeo (42), procedure interventistiche epato-biliari (colangiografia transepatica percutanea e portografia) (41, 43). I pazienti sono stati riuniti in gruppi in funzione del peso come riportato in Tabella 3.10.

Tabella 3.9. Valori di LDR proposti per procedure interventistiche neuroradiologiche in altri Paesi con riferimenti bibliografici (Rif.)

Procedure	Età (anni)	P_{KA} (Gy*cm^2)	$K_{a,r}$ (mGy)	FT (min)
DSA (39)	<2	4	41	11
	2 - <7	18	51	5
	8 - <12	12	62	6
	13-<18	32	58	5
MAV (39)	<2	33	188	41
	2 - <7	70	165	20
	8 - <12	105	380	32
	13-<18	88	538	26
Scleroterapia percutanea malformazioni vascolari superficiali testa-collo (39)	<2	0,350	5	1
	2 - <7	0,790	4	1
	8 - <12	0,490	3	1
	13-<18	0,248	5	2
IAC (40)	<0,3	-	-	-
	0,3 - <1	3,9	-	-
	1-<6	7,0	-	-
	6-10	-	-	-

Tabella 3.10. *Local DRL* per procedure interventistiche del distretto corporeo e periferico in ambito pediatrico e riferimenti bibliografici (Rif.)

Procedure	Peso (kg)	Interventistiche non cardiologiche (42)			Portografia (41)			Colangiografia (43)		
		P_{KA} (Gy*cm^2)	$K_{a,r}$ (mGy)	FT (min)	P_{KA} (Gy*cm^2)	$K_{a,r}$ (mGy)	FT (min)	P_{KA} (Gy*cm^2)	$K_{a,r}$ (mGy)	FT (min)
CVC	<5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5 - <15	**0,84**	-	**3,24**	-	-	-	-	-	-
	15 - <30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30-<50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50-<80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Scleroterapia percutanea di malformazioni vascolari linfatiche	<5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5 - <15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	15 - <30	**7,04**	-	**5,54**	-	-	-	-	-	-
	30-<50	**40,49**	-	**7,27**	-	-	-	-	-	-
	50-<80	**37,34**	-	**23,18**	-	-	-	-	-	-
Procedure epato-biliari	<5	**13,04**	-	**35,21**			-	0,06	1	-
	5 - <15	**21,21**	-	**22,39**	5,6	0,034	9,01	**0,22**	**6**	-
	15 - <30	-	-	-	6,4	0,018	4,57	**0,68**	**35**	-
	30-<50	-	-	-	12,8	0,059	8,50	**1,07**	**27**	-
	50-<80	-	-	-			-	1,79	76	-

I valori dosimetrici riportati in questa tabella fanno riferimento a gruppi di peso di almeno 10 pazienti; quelli in grassetto, considerabili significativi ai fini di una stima di LDR locali, fanno riferimento a gruppi di almeno 20 pazienti. I dati dello studio italiano (41) sono originariamente riportati per gruppi di età e convertiti in fasce di peso come indicato nel documento RP185 (2).

3.1.3.4. Fattore peso e complessità

Per le procedure interventistiche cardiologiche, è stato proposto di esprimere gli LDR anche in termini di P_{KA}/BW ovvero P_{KA} normalizzato al peso corporeo (*Body Weight*, BW) (44, 45). Questa proposta si basa sulla osservazione di un incremento lineare del P_{KA} con il peso del paziente, su due ordini di grandezza; pertanto, il P_{KA}/BW rimane ragionevolmente costante e potrebbe essere utilizzato senza dover specificare alcun gruppo di pazienti.

È stato anche proposto un altro nuovo parametro: P_{KA}/BWxFT ovvero P_{KA} normalizzato al prodotto del tempo di fluoroscopia per il peso (45). Quest'ultimo parametro è utile per esprimere un indicatore dosimetrico che tenga conto sia del fattore peso sia della complessità della procedura.

Sulla base di queste indicazioni, Buytaert *et al.* (46) hanno proposto gli LDR per le procedure di cateterizzazione cardiaca in termini di KAP_{BW} e KAP_{BWxFT}. Nel caso in cui il KAP e il peso abbiano una chiara correlazione lineare, il KAP_{BW} può essere usato come parametro unico per esprimere il LDR anziché ricavare differenti LDR in funzione del peso.

Gli autori ribadiscono inoltre il fatto che un ulteriore parametro ovvero il KAP_{BWxFT} potrebbe essere potenzialmente utile. Nella Tabella 3.11 si riportano i valori di LDR in termini di KAP_{BW} e KAP_{BWxFT}.

Tabella 3.11. Valori di LDR pediatrici espressi in termini di KAP per unità di peso corporeo e KAP per unità di peso corporeo e unità di tempo di fluoroscopia. Vioene riportato il 75°percentile per gruppo di procedure (46)

Procedure	KAP_{BW} (mGy cm^2 Kg^{-1})	KAP_{BWxFT} (mGy cm^2 Kg^{-1} min^{-1})
Tutte	303	19,9
Diagnostiche	335	35,9
Interventistiche	299	17,4
Chiusura ASD	107	14,8
Chiusura forame ovale pervio	57	14,5
Chiusura PDA	90	13,3
Valvulopalstica (pallone singolo)	192	15,3
Angioplastica (pallone singolo)	420	20,1
Dilatazione con palloni multipli	560	19,1
Sostituzione valvola polmonare	1533	35,0
Stenting	719	32,1

Come riportato nell'annesso G.2 della pubblicazione RP185 (2) analizzando i valori di P_{KA} in funzione del peso del paziente per procedure interventistiche non cardiologiche del tronco si osserva una correlazione lineare. Analogamente a quanto osservato in diverse procedure cardiache pediatriche, anche per quelle della regione del tronco, il P_{KA} per peso del paziente è approssimativamente costante.

3.2. Medicina nucleare diagnostica dell'adulto

3.2.1. Grandezze dosimetriche per gli LDR

In medicina nucleare, la dose al paziente è direttamente proporzionale all'attività del radiofarmaco somministrato. Pertanto, il parametro universalmente riconosciuto per esprimere i valori di LDR è l'attività somministrata di radiofarmaco (7). Normalmente, i valori di LDR si basano, in particolare, sui valori di "attività somministrata ad un paziente di corporatura standard" (tipicamente, 70 kg ± 10

kg) (7) oppure, in alternativa, in attività somministrata per kg di peso. Le dosi equivalenti ai vari organi e la dose efficace per unità di attività somministrata sono riportate in letteratura (47, 48); si evidenzia che nei modelli radiometabolici utilizzati vengono assunte ipotesi cautelative ed è quindi ragionevole ritenere che le dosi riportate in letteratura siano maggiori di quelle reali.

Bisogna, inoltre, tener presente che in medicina nucleare il concetto di LDR non nasce su base statistica e non si basa sul valore del 75° percentile della distribuzione delle dosi mediane effettivamente erogate in un campione di installazioni, ma sull'attività da somministrare per ottenere un imaging soddisfacente nel corso di una procedura standard che utilizzi le apparecchiature comunemente presenti nei reparti di medicina nucleare (23).

In medicina nucleare, secondo la legislazione italiana vigente, i livelli diagnostici di riferimento sono definiti come i livelli di attività per esami tipici per gruppi di pazienti di corporatura standard o fantocci standard (7): rappresentano, quindi, un livello ottimizzato per le attività somministrate. I LDR vanno intesi come strumenti di lavoro per ottimizzare le prestazioni (7). Sono grandezze misurabili e tipiche per le procedure radiologiche e di medicina nucleare, non si riferiscono a misure di dose assorbita dal singolo paziente e non devono essere utilizzati al di fuori di programmi di miglioramento della qualità.

3.2.2. Valori di LDR per l'adulto da indagini nazionali ed europee

La Tabella 3.12 riporta i valori di LDR per le indagini di medicina nucleare per un paziente adulto, derivati dal documento RP 180 (23) e dalle linee guida italiane AIMN ed europee EANM i cui riferimenti sono nella tabella stessa.

In ambito PET, le linee guida europee forniscono un sistema di calcolo dell'attività in accordo col peso corporeo, la durata dell'acquisizione per lettino e la percentuale di sovrapposizione dei lettini successivi nel corso dell'acquisizione PET (≤30% o > 30%) (23). Sebbene si tratti di una modalità di calcolo precisa, è stata preferita la proposta italiana dell'attività/kg (AIMN) in quanto da un lato permette di ottenere risultati di attività globale ampiamente confrontabili e dall'altro risulta più maneggevole e fruibile per il calcolo, nella routine clinica. Qualunque sia il modello di calcolo dell'attività utilizzato, per pazienti di peso superiore a 90 kg, l'attività massima somministrata di F-18 FDG dovrebbe comunque mantenersi al di sotto dei 530 MBq (49). Le linee guida europee EANM raccomandano tuttavia di non utilizzare tali sistemi di calcolo dell'attività in caso di impiego di tomografi PET/TC digitali o di tipo *Long Axial Field Of View* (LAFOV), poiché l'elevata sensibilità di questi sistemi consente di ridurre significativamente l'attività somministrata mantenendo un'ottima qualità dell'immagine. In particolare, per i tomografi digitali, le linee guida EANM raccomandano l'adesione ai protocolli EARL (*EANM Research Ltd*), attraverso i quali ottimizzare l'attività somministrata e gli algoritmi di ricostruzione delle immagini. Lavori presenti in letteratura consentono di affermare che l'attività somministrata o i tempi di acquisizione possono essere ridotti fino ad un terzo dei valori standard impiegati per i sistemi analogici (50, 51).

Una peculiarità distintiva dell'imaging medico nucleare è l'utilizzo di tecniche di imaging ibrido. La combinazione SPECT/TC e PET/TC migliora, come noto, l'accuratezza diagnostica fornendo informazioni sia funzionali che anatomiche. La dose al paziente per una PET/TC o una SPECT/TC è la combinazione della "doppia" esposizione all'attività del radiofarmaco e alla dose TC, per cui è appropriato considerare e settare un LDR per ognuna delle due modalità (7). La TC delle apparecchiature ibride è un dispositivo cosiddetto "low-dose", adeguato, cioè, per scopi di correzione per l'attenuazione e localizzazione anatomica, tuttavia, l'imaging TC delle indagini PET/TC o SPECT/TC può essere usato per una TC diagnostica, anche con mezzo di contrasto, permettendo, quindi, di fatto una riduzione dell'esposizione "globale" e fornendo ulteriori informazioni per l'interpretazione dell'indagine medico nucleare e radiologica.

Tabella 3.12. Valori di LDR espressi in attività in MBq per la diagnostica dell'adulto in medicina nucleare derivanti da pubblicazioni italiane ed europee per procedura e regione anatomica (Rif.)

Procedura	Radiofarmaco	Valori di LDR (MBq)				Rif.
		AIMN (valore e/o intervallo)	EANM (valore e/o intervallo)	RP 180 (23) valore più frequente	RP 180 (23) intervallo	
SPECT cerebrale perfusoria	Tc-99m ECD o Tc-99m HMPAO	740 (555-1110)	740 (555-1110)	500	500-1110	(52, 53)
SPECT cerebrale con traccianti recettoriali presinaptici	I-123 FP-CIT	185 (150-250)	185 (110-250)			(52, 54)
PET cerebrale – metabolismo glucidico	F-18 FDG	185	150 (125-250)			(52, 55)
PET cerebrale con traccianti per amiloide	F-18 florbetapir	370	370			(52 56)
	F-18 flutemetamolo	185	185			
	F-18 florbetaben	300 (260-360)	300			
Scintigrafia tiroidea	Tc-99m pertecnetato	70-150	74-111	80	75-222	(57,58)
	I-123 ioduro	7-20	7,4-14,8	20	10-37	
Scintigrafia di metastasi tiroidee	I-131 ioduro		37-185	400	90-400	(59, 60)
Scintigrafia paratiroidea	Tc-99m MIBI	370-740	400-900		400-900	(61, ,62)
	Tc-99m pertecnetato	60-150	74-150			
PET – paratiroidi	F-18 Colina		100-300			(61, 62)
	C-11 Metionina	370-900	370-1100			
Scintigrafia di perfusione miocardica	Tc-99m tetrofosmina Tc-99m MIBI	370+1100 (Pt1g) 740/esame (Pt2g)	250-400 + 750-1200 (Pt1g) 300-600/esame (Pt2g) Gamma camera CZT: 150-300 + 450-900 (Pt1g) 180-500/esame (Pt2g)	1200	300-1500	(63, 64)
PET di perfusione miocardica	N-13 ammonia	370-740	400 (370-740)			(63, 65)
	Rb-82	2D: 1110-2500 3D: 750-1550	3D: 10 MBq/kg (740-1480 o 740-1110)			
PET di vitalità miocardica	F-18 FDG	185-555	200-350			(63, 66)
Scintigrafia per amiloidosi cardiaca	Tc-99m difosfonati	300-740	370-740			(63, 67, 68)
Scintigrafia di perfusione polmonare	Tc-99m MAA	100-150	40-120	150	100-296	(69, 70)
Scintigrafia renale sequenziale	Tc-99m DTPA	200 (3 MBq/kg)	37-185		150-540	(71, 72)
	Tc-99m MAG3	160 (2 MBq/kg)	37-185	100	100-370	

Procedura	Radiofarmaco	Valori di LDR (MBq)				Rif.
		AIMN (valore e/o intervallo)	EANM (valore e/o intervallo)	RP 180 (23) valore più frequente	RP 180 (23) intervallo	
Scintigrafia renale statica	Tc-99m DMSA	40-160 (1 MBq/kg)	111 (74-222)		70-183	(71, 73)
PET – oncologia	F-18 FDG	2-4 MBq/kg	7-14 MBq in (min/lettino)/kg		200-400	(74, 75, 49)
	F-18 colina	3D: 3-4 MBq/kg	4 MBq/kg (50-400)			(76, 77)
	F-18 fluciclovina	370	370			(78, 79)
	Ga-68 PSMA-11	1,8-2,2 MBq/kg	111-259			(80,81)
	F-18 PSMA-1007	4 MBq/kg	210-280			
	F-18 DCFPyL		296-370			
	Ga-68 DOTA	100-200	100-200			(82, 83)
PET – neuro-oncologia	F-18 FET	185-200	185-200			(82, 84 85, 86, 87)
	C-11 MET	370-555	370-555			
	F-18 DOPA	185-200	185-200			
	F-18 FDG	185-200	185-200			
	Ga-68-DOTA	100-200	100-200			
Linfonodi sentinella	Tc-99m nanocolloidi	Mammella: 5-30 (3-6 h prima, Pt1g) 30-74 (15-18 h prima, Pt2g) Melanoma e cavo orale: 16-40 (4-8/ aliquota, Pt1g) 37-74 (Pt2g) Vulva: 148 (37 x 4 aliquote) (Pt1g) 296 (74 x 4 aliquote) (Pt2g) Endometrio: 40 (10 x 4 aliquote) (Pt1g) 185 (46,25 x 4 aliquote) (Pt2g)	Mammella: 5-30 (Pt1g) 150 max (Pt2g) Melanoma: 5-120 Cavo orale: 40-50 (Pt1g) 70-120 (Pt2g) Vulva: 20-150 Endometrio: 40-185			(88-96)
Scintigrafia ossea	Tc-99m fosfati e fosfonati	300-740	300-740	600	500-1110	(97, 98)
Scintigrafia di infezioni / infiammazioni	Tc-99m HMPAO globuli bianchi	370-740	370-740			(99,100)
PET per infezioni / infiammazioni	F-18 FDG	2,5-5 MBq/kg	2,5-5,0 MBq/kg (175-350)			(99,100, 101)

Pt1g: protocollo a 1 giorno; Pt2g: protocollo a 2 giorni.

Le innovazioni tecnologiche dei sistemi TC si riflettono sulle apparecchiature ibride PET/TC e SPECT/TC. In particolare, l'impiego di algoritmi di riduzione della dose e di algoritmi di ricostruzione iterativi hanno consentito un importante decremento dei valori di dose legati alla

componente TC. L'ottimizzazione degli studi PET/TC comporta l'individuazione di valori diversi di CTDIvol e DLP a seconda della finalità clinica del protocollo, che può riguardare, ad esempio, l'oncologia o lo studio di infezioni e infiammazioni, rispetto ai protocolli *whole body standard* (dalle orbite al primo terzo del femore) o ai protocolli total body (dal vertice cranico ai piedi).

Per gli studi SPECT/TC, invece, vengono forniti valori di CTDIvol e DLP distinti a seconda che l'acquisizione sia finalizzata alla sola correzione per attenuazione oppure alla localizzazione e caratterizzazione di specifici distretti anatomici.

Nella Tabella 3.13 sono riportati i valori degli LDR derivati da:

- un'indagine dei Paesi scandinavi, eseguita da aprile 2017 a febbraio 2018, che ha proposto valori di LDR per il CTDIvol e per il DLP diversi per la PET/TC in oncologia, nelle infezioni/infiammazioni, nelle cerebrali e nella PET/TC e SPECT/TC miocardica oltre che nella SPECT/TC del polmone, delle ossa e delle paratiroidi (102);
- uno studio multicentrico italiano, eseguito retroprospettivamente da gennaio a dicembre 2022, dedicato alla PET/TC, che ha individuato valori di LDR per gli studi *whole body standard, total body* e cerebrali (103).

Tabella 3.13. Valori di LDR per la componente TC di sistemi ibridi utilizzata per la sola correzione dell'attenuazione e la localizzazione (rif.)

TC in imaging ibrido PET/TC e SPECT/TC	Parametro	Valori LDR
TC per la correzione dell'attenuazione e la localizzazione		
PET/TC in oncologia (corpo intero standard)	CTDIvol	2,9 mGy (102) 4,4 mGy (103)
	DLP	310 mGycm (102) 446 mGycm (103)
PET/TC (corpo intero vertice-piedi)	CTDIvol	4,9 mGy (103)
	DLP	795 mGycm (103)
PET/TC cerebrali	CTDIvol	14,9 mGy (103)
	DLP	407 mGycm (103)
SPECT/TC osso	CTDIvol	4,0 mGy (102)
	DLP	215 mGycm (102)
SPECT/TC paratiroidi	CTDIvol	5,7 mGy (102)
	DLP	199 mGycm (102)
TC per la correzione dell'attenuazione		
PET/TC e SPECT/TC miocardica	CTDIvol	2,2 mGy (102)
	DLP	53 mGycm (102)

3.3. Medicina nucleare diagnostica pediatrica

3.3.1. Grandezze dosimetriche per gli LDR

Per quanto riguarda le grandezze dosimetriche per la medicina nucleare diagnostica pediatrica si fa riferimento al paragrafo 3.2.1 relativo alle grandezze dosimetriche dell'adulto.

3.3.2. Valori di LDR per il paziente pediatrico da indagini nazionali ed europee in medicina nucleare

Anche per la diagnostica di medicina nucleare, lo scarso numero di pazienti, di studi e la grande variabilità in relazione a peso ed età non consentono di disporre di valori di LDR derivanti da ampie indagini. Fino alla pubblicazione della prima *dosage card* (104) la massa corporea del paziente è stata considerata come unico fattore affidabile da collegare ai LDR rispetto all'età (7, 105-107) A partire dal 1990 le attività somministrate sono state standardizzate in base al peso dalla EANM che ha stabilito un consensus "weight-based" (108).

Con lo scopo di ottenere dosi efficaci indipendenti dalla massa corporea del paziente e confrontabili con quelle di un adulto standard (70 kg) nel 2005 la EANM ha proposto una *dosage card* (104), rivista poi nel 2016. Al fine di ottenere una sostanziale indipendenza della dose efficace dalla massa del paziente è stato suggerito di utilizzare tre diverse *dosage card* dipendenti dal tipo di tracciante considerato (104).

Questa modalità prevede che il calcolo dell'attività da somministrare si ottenga moltiplicando un'attività di base, per un fattore che varia a seconda della classe del radiofarmaco utilizzato (classe A, classe B, classe C) e della massa del paziente:

Attività somministrata (MBq) = Attività di base *x* Fattore di moltiplicazione (secondo la classe del radiofarmaco).

La *EANM dosage card* fornisce inoltre valori raccomandati della minima attività da somministrare che garantiscano uno standard minimo di qualità dell'imaging.

In Tabella 3.14 si riportano i fattori di moltiplicazione tratti da EANM (104, 109, 110), e in Tabella 3.15 le attività di base a cui fa riferimento la formula di calcolo riportata sopra e i valori minimi di attività raccomandati da EANM, calcolati per le gammacamere o i tomografi PET più comunemente utilizzati. Se il risultato del calcolo dell'attività somministrata, secondo la modalità sopra indicata, è inferiore all'attività minima raccomandata, il valore di LDR da considerare è quello riportato nell'ultima colonna di Tabella 3.15.

Un utile e semplice strumento, costantemente aggiornato, per la visualizzazione degli LDR degli esami diagnostici contenuti nella *EANM dosage card*, è costituito dal calcolatore presente sul sito della EANM, raggiungibile all'indirizzo https://eanm.org/publications/useful-resources/dosage-calculator-old/. Inserendo nel form la massa corporea del paziente e il radiofarmaco viene visualizzato il corrispondente LDR espresso in MBq e in mCi.

Nonostante gli aggiornamenti della *dosage card*, è stato evidenziato che attività somministrate più basse di quelle riportate nella *dosage card* garantiscono comunque una buona qualità d'immagine (111). Sulla base dei dati raccolti nell'ambito di un ampio studio multicentrico internazionale sull'utilizzo di [^{18}F]FDG-PET per la stadiazione e ristadiazione di pazienti con linfoma di Hodgkin (112), nel 2024 è stato proposto di aggiornare il valore di LDR della *EANM dosage card* per gli esami ^{18}F]FDG PET/TC *total body* (basi cranio – radice delle cosce), eseguiti con sistemi PET/TC convenzionali come riportato in Tabella 3.16 con una riduzione di oltre il 60% della attività di base.

Per le procedure di imaging SPECT, i valori di LDR dovrebbero essere stabiliti allo stesso modo delle procedure di medicina nucleare planare. Anche in questo caso, l'approccio ideale sarebbe la definizione di attività somministrate basate sul peso corporeo, specifiche per ciascun radiofarmaco, laddove ciò sia ritenuto appropriato (7). A partire dal 2015, i dati disponibili sui valori di LDR per la SPECT sono molto limitati (112). I valori degli LDR per gli studi SPECT sono normalmente leggermente superiori rispetto a quelli degli stessi radiofarmaci utilizzati per l'imaging planare (7).

Tabella 3.14 Fattori di moltiplicazione dell'attività di base in funzione del peso corporeo per i radiofarmaci di classe A, classe B e classe C (104, 109, 110)

Peso (kg)	Fattore di moltiplicazione		
	Classe A	Classe B	Classe C
3	1	1	1
4	1,12	1,14	1,33
6	1,47	1,71	2,00
8	1,71	2,14	3,00
10	1,94	2,71	3,67
12	2,18	3,14	4,67
14	2,35	3,57	5,67
16	2,53	4,00	6,33
18	2,71	4,43	7,33
20	2,88	4,86	8,33
22	3,06	5,29	9,33
24	3,18	5,71	10,00
26	3,35	6,14	11,00
28	3,47	6,43	12,00
30	3,65	6,86	13,00
32	3,77	7,29	14,00
34	3,88	7,72	15,00
36	4,00	8,00	16,00
38	4,18	8,43	17,00
40	4,29	8,86	18,00
42	4,41	9,14	19,00
44	4,53	9,57	20,00
46	4,65	10,00	21,00
48	4,77	10,29	22,00
50	4,88	10,71	23,00
52-54	5,00	11,29	24,67
56-58	5,24	12,00	26,67
60-62	5,47	12,71	28,67
64-66	5,65	13,43	31,00
68	5,77	14,00	32,33

Tabella 3.15. Attività di base e attività minima raccomandata per i radiofarmaci di interesse in ambito pediatrico (*EANM dosage card*) (104, 109, 110)

Radiofarmaco	Classe	Attività di base (MBq)	Attività minima raccomandata (MBq)
^{123}I Scintigrafia tiroidea	C	0,6	3
^{123}I Anfetamine Scintigrafia cerebrale di flusso	B	13,0	18
^{123}I HIPPURAN Funzione renale anormale	B	5,3	10
Funzione renale normale	A	12,8	10
^{123}I mIBG Scintigrafia surrenalica midollare	B	28,0	37
^{131}I mIBG Scintigrafia surrenalica midollare	B	5,6	35
^{18}F FDG-PET PET globale corporea	B	25,9	26
PET cerebrale	B	14,0	14
^{18}F Fluoruro PET globale corporea con altri radiofarmaci	B	10,5	14
^{67}Ga Citrato	B	5,6	10
^{68}Ga-peptidi PET globale corporea con altri radiofarmaci	B	12,8	14
^{99m}Tc Albumina Scintigrafia cardiaca	B	56,0	80
^{99m}Tc Colloidi Svotamento gastrico-Reflusso gastro-esofageo	B	2,8	10
Scintigrafia epatica/splenica	B	5,6	15
Scintigrafia midollare	B	21,0	20
^{99m}Tc DMSA Scintigrafia Renale statica	B	6,8	18,5

Radiofarmaco		Classe	Attività di base (MBq)	Attività minima raccomandata (MBq)
^{99m}Tc DTPA	Funzione renale anormale	B	14,0	20
	Funzione renale normale	A	34,0	20
^{99m}Tc ECD SPECT cerebrale con tracciante di perfusione		B	51,8	100
^{99m}Tc HMPAO	SPECT cerebrale con tracciante di perfusione	B	51,8	100
	Scintigrafia globale corporea con leucociti marcati	B	35,0	40
^{99m}Tc IDA Scintigrafia Sequenziale Epato Biliare		B	10,5	20
^{99m}Tc MAA / Microsfere Scintigrafia Polmonare di perfusione		B	5,6	10
^{99m}Tc MAG3 Scintigrafia sequenziale renale		A	11,9	15
^{99m}Tc MDP Scintigrafia ossea o articolare globale corporea		B	35,0	40
^{99m}Tc Pertecnetato	Cistoscintigrafia	B	1,4	20
	Mucosa Gastrica Ectopica	B	10,5	20
	Scintigrafia miocardica First Pass	B	35,0	80
	Scintigrafia tiroidea	B	5,6	10
^{99m}Tc RBC Blood Pool		B	56,0	80
^{99m}Tc SestaMIBI/Tetrofosmina Scintigrafia				
con indicatori positivi		B	63,0	80
miocardica a riposo – Pt2g, min		B	42,0	80
miocardica a riposo – Pt2g, max		B	63,0	80
miocardica da stimolo fisico o farmacologico – Pt2g, min		B	42,0	80
miocardica da stimolo fisico o farmacologico – Pt2g, max		B	63,0	80
miocardica a riposo – Pt1g, min		B	28,0	80
miocardica a riposo – Pt1g, max		B	84,0	80
^{99m}Tc Spleen RBC Denaturati		B	2,8	20
^{99} Tc TECHNEGAS Ventilazione polmonare		B	70	100

Pt1g: Protocollo a 1 giorno; PT2g: Protocollo a 2 gioni

Tabella 3.16. Valore di LDR per gli esami *total body* (basi cranio – radice delle cosce), eseguiti con sistemi PET/TC convenzionali – aggiornamento suggerito (111) per *EANM dosage card*

Radiofarmaco	Classe	Attività di base (MBq)	Minima attività raccomandata (MBq)
^{18}F FDG-PET/TC	B	15,8	16

In generale, e soprattutto in ambito pediatrico, è bene considerare che una riduzione dell'attività somministrata, mantenendo una buona qualità dell'immagine, può essere ottenuta aumentando il tempo di acquisizione. Tuttavia, tempi di acquisizione prolungati nella gran parte dei casi non sono praticabili, poiché i pazienti non riescono a rimanere immobili e gli artefatti da movimento peggiorano la qualità delle immagini (7).

Negli ultimi anni si è verificato un cambiamento significativo nella tecnologia hardware PET, passando dai tradizionali sistemi PET/TC all'introduzione della PET/RM, alla lettura digitale della luce proveniente dai cristalli scintillatori (SiPM) e all'utilizzo di anelli di rivelazione con ampio campo di vista assiale (≥ 25 cm) (113).

Sebbene la *EANM dosage card* sia ancora applicabile nonostante questi sviluppi tecnologici, la maggiore sensibilità resa possibile da tali innovazioni consente una potenziale riduzione delle attività somministrate.

Tale suggerimento è presente nella EANM *dosage card* ove è riportato che le attività minime raccomandate sono calcolate per gamma camere o tomografi a emissione di positroni comunemente utilizzati ed è comunque possibile somministrare attività inferiori quando si utilizzano sistemi con maggiore efficienza di conteggio (104).

Sono stati recentemente proposti i seguenti valori ridotti di LDR, mantenendo la coerenza con le versioni precedenti della EANM *dosage card* per la [^{18}F]FDG PET/RM *total body e* per la PET/TC *total-body* con campo di vista assiale esteso, riferiti a una durata di scansione di 3 minuti per posizione del lettino (113):

Class B, baseline value: 10.7 MBq, minimum recommended activity: 10 MBq

Bibliografia

1. IAEA 457, 2007 International Atomic Energy Agency. *Dosimetry in diagnostic radiology: an international code of practice*. Vienna: IAEA; 2007. (Technical reports series no. 457)
2. European Commission. *Radiation Protection 185: European Guidelines on Diagnostic Reference Levels for Paediatric* Imaging. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2018, https://data.europa.eu/doi/10.2833/486256
3. Giannone A, De Monte F, Colangelo M, Di Salvo G, Fraccaro C, Sirico D, Paiusco M, Castaldi B. Standardized diagnostic reference levels for paediatric interventional cardiology: Data from an Italian referral centre. *Phys Med.* 2024;124:104487. doi: 10.1016/j.ejmp.2024.104487.
4. Habib Geryes B, Bondet De La Bernardie S, Hascoet S, Geant C, Dauphin C, Douchin S, Rousseau J, Godart F, Pontvianne V, Ovaert Reggio C, Lefort B, Danvin A, Caer-Lorho S, Bernier MO, Bonnet D, Rage E. Diagnostic Reference Levels in pediatric interventional cardiology: A multicenter study by the French cohort in HARMONIC project. *PLoS One*. 2025;20(9):e0332241. doi: 10.1371/journal.pone.0332241.
5. Commissione Europea. Raccomandazione (Euratom) 2026/403 della Commissione del 23 febbraio 2026 relativa alla definizione, alla revisione e all'impiego di livelli diagnostici di riferimento per esami radiodiagnostici e procedure di radiologia interventistica. *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, Serie L, 25.02.2026; http://data.europa.eu/eli/reco/2026/403/oj
6. D'Ercole L, A Rosi, G Bernardi, G Compagnone, A Orlacchio, R Padovani, A Palma, S Grande. National survey to update the diagnostic reference levels in interventional radiology procedures in Italy: working methodology. *J Radiol Prot.* 2024;44:011505. https://doi.org/10.1088/1361-6498/ad1fe1
7. ICRP International Commission on Radiological Protection. Publication 135. Diagnostic reference levels in medical imaging. *Ann ICRP.* 2017;46(1).
8. Greffier J, Bigand E, Etard C, Hornbeck A, Salvat C. *Niveaux de Reference en Radiologie Interventionelle*. Paris: Société Francaise de Physique Médicale; 2017 (Rapport SFPM 32).
9. Cavallari M., D'Ercole L., Grande S., Klersy C., Padovani R., Orlacchio A., Compagnone G., Rosi A, Palma A. Establishing Updated Diagnostic Reference Levels for Interventional Radiology: A National Italian Survey Incorporating Procedure Complexity Indices – Part II: interventional neuroradiology; *European Journal of Radiology.* 2026; 196:112662, https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2026.112662
10. Ufficio federale della sanità pubblica UFSP- Divisione Radioprotezione. Guida LDR in radiologia interventistica V1 29.01.2026, 2026, http://www.bag.admin.ch/rad-guide
11. Padovani R, Compagnone G, D'Ercole L, Orlacchio A, Bernardi G, De Ponti E, Marzola MC, Grande S, Palma A, Campanella F, Rosi A. *Livelli diagnostici di riferimento per la pratica nazionale*

di radiologia diagnostica e interventistica e di medicina nucleare diagnostica. Aggiornamento del Rapporto ISTISAN 17/33. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2020. (Rapporti ISTISAN 20/22Rev)

12. Grande S, D'Ercole L, Palma A, De Angelis C, Fattibene P, Trianni A, Padovani R. *Risultati di un'indagine sulle esposizioni a radiazioni ionizzanti di operatori e pazienti in radiologia interventistica*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2018. (Rapporti ISTISAN 18/17)
13. Autorité de sûreté nucléaire. (2019, 18 avril). *Décision n° 2019-DC-0667 relative aux modalités d'évaluation des doses de rayonnements ionisants délivrées aux patients lors d'un acte de radiologie, de pratiques interventionnelles radioguidées ou de médecine nucléaire et à la mise à jour des niveaux de référence diagnostiques associés. Homologuée par l'arrêté du 23 mai 2019* (JORF du 30 mai 2019), 2019.
14. Isoardi P, D'Ercole L, Cavallari M, Gianusso L, Pini S, Giordano C, Angelini L, Colombo PE, Delle Canne S, Del Vecchio A, Di Liberto R, Farnedi S, Ghetti C, Lorenzini E, Origgi D, Paruccini N, Pasquino M, Cutaia C, Quattrocchi M, Riccardi L, Soavi R, Strocchi S, Trianni A, Venturi G. Patient dose in angiographic interventional procedures: a multicentre study in Italy. *Physica Medica*. 2019; 64:273-92
15. Schegerer A, Loose R, Heuser LJ, Brix G. Diagnostic Reference Levels for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures in Germany: Update and Handling. *Rofo*. 2019; 191(8):739-751. English, German. doi: 10.1055/a-0824-7603. Epub 2019 Jan 21. PMID: 30665250.
16. Bundesamt für Strahlenschutz. Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen vom 17. November 2022. *Bundesanzeiger;* 2023
17. Guenego A, Mosimann PJ, Pereira V.M., Nicholson P, Zuber K, *et al.* Proposed achievable levels of dose and impact of dose-reduction systems for thrombectomy in acute ischemic stroke: an international, multicentric, retrospective study in 1096 patients. *Eur Radiol*. 2019; 7:3506-3515
18. Cavallari M, Grande S, Palma A, Klersy C, Padovani R, Orlacchio A, Compagnone G, Rosi A, D'Ercole L . Establishing updated diagnostic reference levels for interventional radiology: a national Italian survey incorporating procedure complexity Indices, *European Journal of Radiology* 2026; 195: 112648, https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2025.112648
19. Ruiz-Cruces R, Vano E, Carrera-Magariño F, Moreno-Rodriguez F, Soler-Cantos MM, Canis-Lopez M, Hernández-Armas J, Diaz-Romero FJ, Rosales-Espizua F, Fernandez-Soto JM, Sanchez-Casanueva R, Martin-Palanca A, Perez-Martinez M, Gil-Agudo A, Zarca-Diaz MA, Parra-Osorio V, Muñoz Ruiz-Canela JJ, Moreno-Sanchez T, Lopez-Medina A, Moreno-Saiz C, Galan-Montenegro P, Gallego-Beuter JJ, Gonzalez-de-Garay M, Zapata-Jimenez JC, Pastor-Vega JM, Cañete S. Diagnostic reference levels and complexity indices in interventional radiology: a national programme. *Eur Radiol.* 2016;26 (12):4268-76
20. European Commission. *Radiation Protection 195 European Study on Clinical Diagnostic Reference Levels for X-ray Medical Imagin.* Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2021.
21. Pimenta A., Azevedo L., Ramos I, Santos J. Establishment of Diagnostic Reference Levels in Portuguese Interventional Radiology departments. *Eur J Radiol.* 2024; 173:111377. doi: 10.1016/j.ejrad.2024.111377.
22. Lee O'Hora L., O'Brien K., Tuffy J., Craig A., Neville N., Sugrue K., Keaveney M., O'Brien E., Quinn E., Egan S. Establishing national diagnostic reference levels in fluoroscopy and f luoroscopically guided interventions in Ireland and comparing these with national diagnostic reference levels in Europe and internationally. *European Journal of Radiology* 2025; 183: 111890
23. European Commission. *Radiation Protection 180 Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European Countries Part 2/2 2014.* Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2014.
24. Hadid-Beurrier L., Dabli D., Royer B., Demonchy M., Le Roy J. Diagnostic reference levels during fluoroscopically guided interventions using mobile C-arms in operating rooms: A National multicentric survey. *Physica Medica* 2021; 86: 91-97.https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2021.05.013

25. Tuthill E, O'Hora L, O'Donohoe M, Panci S, Gilligan P, Campion D, Trenti R, Fox E, Catania D, Rainford L. Investigation of reference levels and radiation dose associated with abdominal EVAR (endovascular aneurysm repair) procedures across several European Centres. *Eur Radiol*. 2017;27(11):4846-56

26. Rial R, Vañó E, Del Río-Solá ML, Fernández JM, Sánchez RM, et al. National diagnostic reference levels for endovascular aneurysm repair and optimisation strategies. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2020; 60(6):837-842.

27. UK Health Security Agency. *Diagnostic radiology: national diagnostic reference levels.* Updated 2025 Dec 11. London: UK Health Security Agency; 2025.

28. D'Ercole L, Palma A, Cavallari M, Padovani R, Klersy C, Bernardi G, et al. National survey to update the Italian diagnostic reference levels in interventional cardiology. *Eur J Radiol.* 2026;112976. doi:10.1016/j.ejrad.2026.112976.

29. Siiskonen T, Ciraj-Bjelac O, Dabin J, Diklic A. Establishing the European diagnostic reference levels for interventional cardiology. *Phys Med.* 2018;54:42-48.

30. Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire (AFCN). *DRL en radiologie: examens de radiologie conventionnelle, mammographie et radiologie interventionnelle*. 4e itération (2018-2020). Brussels: AFCN; 2020.

31. Järvinen H, Vassileva J, Samei E, Wallace A, Vañó E, Rehani M. Patient dose monitoring and the use of diagnostic reference levels for the optimization of protection in medical imaging: current status and challenges worldwide. *J Med* Imaging *(Bellingham).* 2017;4(3):031214.

32. Feghali JA, Delépierre J, Ciraj-Bjelac O, Dabin J, Deleu M, De Monte F, et al. Patient exposure dose in interventional cardiology per clinical and technical complexity levels. Part 1: results of the VERIDIC project. *Acta Radiol.* 2023;64(1):108-118. doi:10.1177/02841851211061438.

33. Rizk C, Farah J, Vanhavere F, Fares G. National diagnostic reference levels in interventional radiology suites in Lebanon: a multicenter survey. *Radiat Prot Dosimetry.* 2019;187(1):50-60.

34. Kostova-Lefterova DZ, Shalganov TN, Stoyanov MK, Traykov VB, Boychev DB, Protich MM, et al. Proposing national diagnostic reference levels for electrophysiology studies and catheter ablation procedures in Bulgaria. *Phys Med.* 2023;108:102572. doi:10.1016/j.ejmp.2023.102572.

35. International Atomic Energy Agency. *Patient radiation exposure monitoring in medical* imaging. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2023. (IAEA Safety Reports Series No. 112).

36. Heilmaier C, Zuber N, Berthold C, Kara L, Weishaupt D. Establishing local diagnostic reference levels in IR procedures with dose management software. *J Vasc Interv Radiol.* 2017;28:429-41.

37. Vossou M, Spiliopoulos S, Palialexis K, Antonakos J, Efstathopoulos EP. Diagnostic reference levels and complexity indices in interventional radiology. *Radiat Prot Dosimetry.* 2023 Mar 2;199(3):ncac267 254 261-261. doi: 10.1093/rpd/ncac267

38. Teles P, Costa R, Bettio T, Pinheiro T, Loupa T, Santos J, Pinto F, Gil OM, Ferrari P, Zankl M. Local DRL estimation and effective dose calculation in paediatric interventional cardiology using measurements and Monte Carlo simulations. *Phys Med.* 2025;135:105023. doi: 10.1016/j.ejmp.2025.105023.

39. Habib Geryes B, Bak A, Lachaux J, Ozanne A, Boddaert N, Brunelle F, Naggara O, Saliou G. Patient radiation doses and reference levels in pediatric interventional radiology. *Eur Radiol.* 2017; 27: b3983-3990

40. Opitz M, Bos D, Deuschl C, Radbruch A, Zensen S, Sirin S, Forsting M, Bechrakis N, Biewald E, Bornfeld N, Ketteler P, Timmermann B, Stuschke M, Guberina M, Wetter A, Göricke S, Guberina N. Estimation of radiation exposure of children undergoing superselective intra-arterial chemotherapy for retinoblastoma treatment: assessment of local diagnostic reference levels as a function of age, sex, and interventional success. *Neuroradiology*. 2021 Mar;63(3):391-398. doi: 10.1007/s00234-020-02540-7.

41. Gerasia R, Cannataci C, Gallo GS, Tafaro C, Maruzzelli L, Cortis K, Miraglia R. Local diagnostic reference levels for pediatric retrograde wedge portography interventional procedures using a dose monitoring software at a transplantation institute. *Radiat Prot Dosimetry.* 2022 Feb 18;198(1-2):100-108. doi: 10.1093/rpd/ncab194.

42. Morcillo AB, Alejo L, Huerga C, Bayón J, Obesso A, Corredoira E, Novo JR, Hernández T, Ponce MD, Fernández L, Rodríguez R, Garzón G, Vañó E, Guibelalde E. Local diagnostic reference levels for paediatric non-cardiac interventional radiology procedures. *Phys Med*. 2020 Apr;72:1-6. doi: 10.1016/j.ejmp.2020.03.001.

43. Farah J, Pariente D, Esaki A, Deleuze C, Adamsbaum C, Franchi-Abella S. Establishing local diagnostic reference levels for pediatric percutaneous transhepatic cholangiography interventions and optimizing the routine practice. *Pediatr Radiol.* 2020 May;50(6):827-832. doi: 10.1007/s00247-020-04627-y.

44. Onnasch DGW, Schröder FK, Fischer G, Kramer H-H. Diagnostic reference levels and effective dose in paediatric cardiac catheterization. *The British Journal of Radiology*. 2007;80(951):177-85.

45. Chida K, Ohno T, Kakizaki S, Takegawa M, *et al.* Radiation dose to the pediatric cardiac catheterization and intervention patient. *American Journal of Roentgenology*. 2010; 195:1175-9

46. Buytaert D, Vandekerckhove K, Panzer J, Rubbens L, De Wolf D, Bacher K. Local DRLs and automated risk estimation in paediatric interventional cardiology. *PLoS One.* 2019;14(7): e0220359.

47. International Commission on Radiological Protection. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals: a compendium of current information related to frequently used substances. *ICRP Publication 128. Ann ICRP.* 2015;44(2 Suppl).

48. International Commission on Radiological Protection. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. *ICRP Publication 53. Ann ICRP.* 1988;18(1-4).

49. Boellaard R, Herrmann K, Barrington SF, Cranston I, Mottaghy FM, Hoekstra CJ, et al. [18F]FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 3.0. *EANM J.* 2025;1:100006. doi:10.1016/j.eanmj.2025.100006.

50. van Sluis J, *et al.* Image quality and activity optimization in oncologic (18)F-FDG PET using the digital biograph vision PET/CT system. *J Nucl Med*. 2020;61(5): 764–71.

51. van Sluis J, *et al.* EARL compliance and imaging optimisation on the Biograph Vision Quadra PET/CT using phantom and clinical data. *Eur J Nucl Med Mol Imag*. 2022;49(13):4652–60.

52. Nobili F, Guerra UP. *Raccomandazioni procedurali in neurologia*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare e imaging Molecolare; 2017. (AIMN Vers 07/2017)

53. Kapucu OL, Nobili F, Varrone A, Booij J, Vander Borght T, Någren K, Darcourt J, Tatsch K, Van Laere KJ. EANM procedure guideline for brain perfusion SPECT using 99mTc-labelled radiopharmaceuticals, version 2. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2009;36(12):2093-102

54. Morbelli S, Esposito G, Arbizu J, Barthel H, Boellaard R, Bohnen NI, Brooks DJ, Darcourt J, Dickson JC, Douglas D, Drzezga A, Dubroff J, Ekmekcioglu O, Garibotto V, Herscovitch P, Kuo P, Lammertsma A, Pappata S, Peñuelas I, Seibyl J, Semah F, Tossici-Bolt L, Van de Giessen E, Van Laere K, Varrone A, Wanner M, Zubal G, Law I. EANM practice guideline/SNMMI procedure standard for dopaminergic imaging in Parkinsonian syndromes 1.0. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2020 Jul;47(8):1885-1912. doi: 10.1007/s00259-020-04817-8.

55. Arbizu J, Morbelli S, Minoshima S, Barthel H, Kuo P, Van Weehaeghe D, Horner N, Colletti PM, Guedj E. SNMMI Procedure Standard/EANM Practice Guideline for Brain [18F]FDG PET Imaging, Version 2.0. *J Nucl Med.* 2025;66(Suppl 2):S45-S60. doi: 10.2967/jnumed.124.268754.

56. Minoshima S, Drzezga AE, Barthel H, Bohnen N, Djekidel M, Lewis DH, Mathis CA, McConathy J, Nordberg A, Sabri O, Seibyl JP, Stokes MK, Van Laere K. SNMMI Procedure Standard/EANM Practice Guideline for Amyloid PET Imaging of the Brain 1.0. *J Nucl Med.* 2016;57(8):1316-22. doi: 10.2967/jnumed.116.174615.

57. Rovera G, Zagaria L, Salvatori M. *Raccomandazioni procedurali in endocrinologia*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vrs. 04/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/endocrinologia/Endocrinologia_Tiroide_14-04-2025.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

58. Giovanella L, Avram AM, Iakovou I, Kwak J, Lawson SA, Lulaj E, Luster M, Piccardo A, Schmidt M, Tulchinsky M, Verburg FA, Wolin E. EANM practice guideline/SNMMI procedure standard for RAIU and thyroid scintigraphy. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2019 Nov;46(12):2514-2525. doi: 10.1007/s00259-019-04472-8.

59. Avram AM, Giovanella L, Greenspan B, Lawson SA, Luster M, Van Nostrand D, Peacock JG, Ovčariček PP, Silberstein E, Tulchinsky M, Verburg FA, Vrachimis A. SNMMI Procedure Standard/EANM practice guideline for nuclear medicine evaluation and therapy of differentiated thyroid cancer: Abbreviated Version. *J Nucl Med.* 2022;63(6):15N-35N.

60. Luster M, Clarke SE, Dietlein M, Lassmann M, Lind P, Oyen WJ, Tennvall J, Bombardieri E; European Association of Nuclear Medicine (EANM). Guidelines for radioiodine therapy of differentiated thyroid cancer. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2008;35(10):1941-59. doi: 10.1007/s00259-008-0883-1.

61. Bruno I, Caldarella C. *Scintigrafia paratiroidea*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2017. (AIMN Vrs. 3/2017). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/endocrinologia/Paratiroidi_rev%2020250415.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

62. Petranović Ovčariček P, Giovanella L, Carrió Gasset I, Hindié E, Huellner MW, Luster M, Piccardo A, Weber T, Talbot JN, Verburg FA. The EANM practice guidelines for parathyroid imaging. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2021;48(9):2801-2822. doi: 10.1007/s00259-021-05334-y.

63. Gruppo Italiano di Cardiologia Nucleare. *Raccomandazioni procedurali in cardiologia.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vrs. 03/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/cardiologia/RP_AIMN_cuore%202025_rev_DG.pdf?version=5.7. ultima consultazione 30/7/2026

64. Hyafil F, Gimelli A, Slart RHJA, Georgoulias P, Rischpler C, Lubberink M, Sciagra R, Bucerius J, Agostini D, Verberne HJ; Cardiovascular Committee of the European Association of Nuclear Medicine (EANM). EANM procedural guidelines for myocardial perfusion scintigraphy using cardiac-centered gamma cameras. *Eur J Hybrid* Imaging. 2019;3(1):11. doi: 10.1186/s41824-019-0058-2.

65. Sciagrà R, Lubberink M, Hyafil F, Saraste A, Slart RHJA, Agostini D, Nappi C, Georgoulias P, Bucerius J, Rischpler C, Verberne HJ; Cardiovascular Committee of the European Association of Nuclear Medicine (EANM). EANM procedural guidelines for PET/CT quantitative myocardial perfusion imaging. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2021;48(4):1040-69. doi: 10.1007/s00259-020-05046-9.

66. Flotats A, Knuuti J, Gutberlet M, Marcassa C, Bengel FM, Kaufmann PA, Rees MR, Hesse B; Cardiovascular Committee of the EANM, the ESCR and the ECNC. Hybrid cardiac imaging: SPECT/CT and PET/CT. A joint position statement by the European Association of Nuclear Medicine (EANM), the European Society of Cardiac Radiology (ESCR) and the European Council of Nuclear Cardiology (ECNC). *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2011;38(1):201-12. doi: 10.1007/s00259-010-1586-y.

67. Dorbala S, Ando Y, Bokhari S, Dispenzieri A, Falk RH, Ferrari VA, Fontana M, Gheysens O, Gillmore JD, Glaudemans AWJM, Hanna MA, Hazenberg BPC, Kristen AV, Kwong RY, Maurer MS, Merlini G, Miller EJ, Moon JC, Murthy VL, Quarta CC, Rapezzi C, Ruberg FL, Shah SJ, Slart RHJA, Verberne HJ, Bourque JM. ASNC/AHA/ASE/EANM/HFSA/ISA/SCMR/SNMMI expert

consensus recommendations for multimodality imaging in cardiac amyloidosis: Part 1 of 2-evidence base and standardized methods of imaging. *J Nucl Cardiol.* 2019 Dec;26(6):2065-2123. doi: 10.1007/s12350-019-01760-6. Erratum in: *J Nucl Cardiol.* 2021 Aug;28(4):1761-1762. doi: 10.1007/s12350-021-02711-w.

68. Dorbala S, Ando Y, Bokhari S, Dispenzieri A, Falk RH, Ferrari VA, Fontana M, Gheysens O, Gillmore JD, Glaudemans AWJM, Hanna MA, Hazenberg BPC, Kristen AV, Kwong RY, Maurer MS, Merlini G, Miller EJ, Moon JC, Murthy VL, Quarta CC, Rapezzi C, Ruberg FL, Shah SJ, Slart RHJA, Verberne HJ, Bourque JM. Correction to: ASNC/AHA/ASE/EANM/HFSA/ISA/SCMR/SNMMI expert consensus recommendations for mUltimadality imaging in cardiac amyloidosis: Part 1 of 2-evidence base and standardized methods of imaging. *J Nucl Cardiol.* 2021;28(4):1761-1762. doi: 10.1007/s12350-021-02711-w. Erratum for: *J Nucl Cardiol.* 2019;26(6):2065-2123. doi: 10.1007/s12350-019-01760-6.

69. Rossini P, De Biasi V. *Raccomandazioni procedurali per lo studio polmonare*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vers. 2025) Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/pneumologia/RP%20AIMN%20Polmone%202025.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026.

70. Bajc M, Schümichen C, Grüning T, Lindqvist A, Le Roux PY, Alatri A, Bauer RW, Dilic M, Neilly B, Verberne HJ, Delgado Bolton RC, Jonson B. EANM guideline for ventilation/perfusion single-photon emission computed tomography (SPECT) for diagnosis of pulmonary embolism and beyond. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2019;46(12):2429-51. doi: 10.1007/s00259-019-04450-0.

71. De Palma D. *Raccomandazioni procedurali in nefro-urologia*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vrs. 04/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/nefro-urologia/LG%20AIMN%20nefro-uro%20v.2025.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

72. Taylor AT, Brandon DC, de Palma D, Blaufox MD, Durand E, Erbas B, Grant SF, Hilson AJW, Morsing A. SNMMI Procedure Standard/EANM practice guideline for diuretic renal scintigraphy in adults with suspected upper urinary tract obstruction 1.0. *Semin Nucl Med.* 2018;48(4):377-390. doi: 10.1053/j.semnuclmed.2018.02.010.

73. Blaufox MD, De Palma D, Taylor A, Szabo Z, Prigent A, Samal M, Li Y, Santos A, Testanera G, Tulchinsky M. The SNMMI and EANM practice guideline for renal scintigraphy in adults. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2018;45(12):2218-28. doi: 10.1007/s00259-018-4129-6.

74. Albano D, Camedda R, Pacella S, Panareo S, Ravelli I, Aricò D, Bianchi A, Celli M, Ferrari C, Nanni C, Pepe G, Rizzo A. *Raccomandazioni procedurali per l'*imaging *oncologico con [18F]FDG PET/TC*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Revisione 5/2025).

75. Boellaard R, Delgado-Bolton R, Oyen WJ, Giammarile F, Tatsch K, Eschner W, Verzijlbergen FJ, Barrington SF, Pike LC, Weber WA, Stroobants S, Delbeke D, Donohoe KJ, Holbrook S, Graham MM, Testanera G, Hoekstra OS, Zijlstra J, Visser E, Hoekstra CJ, Pruim J, Willemsen A, Arends B, Kotzerke J, Bockisch A, Beyer T, Chiti A, Krause BJ; European Association of Nuclear Medicine (EANM). FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2015;42(2):328-54. doi: 10.1007/s00259-014-2961-x.

76. Evangelista L. Gruppo di Studio Oncologia. *Raccomandazioni procedurali per l'*imaging *oncologico con 18F - COLINA PET/TC*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2017. (AIMN Vers. 1/2017). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/oncologia/4_Imaging%20Oncologico%20con%2018F%20Colina%20(vers%20%202)%20(1).pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

77. European Association of Nuclear Medicine. *European Nuclear Medicine Guide.* 2020 ed. Salzburg (Austria): European Association of Nuclear Medicine; 2020.

78. Filippi L, Camedda R, Lanfranchi F, Albano D, Aricò D, Celli M, et al. *Raccomandazioni procedurali per l'*imaging *PET con 18F-fluciclovina*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vers. 1 05/2025). Available from: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/oncologia/RACCOMANDAZIONI%20PROCEDURALI%20PER%20L%E2%80%99IMAGING%20PET%20CON%2018F-FLUCICLOVINA.pdf?version=5.7 ultima consultazione 30/7/2026

79. Nanni C, Zanoni L, Bach-Gansmo T, Minn H, Willoch F, Bogsrud TV, Edward EP, Savir-Baruch B, Teoh E, Ingram F, Fanti S, Schuster DM. [18F]Fluciclovine PET/CT: joint EANM and SNMMI procedure guideline for prostate cancer imaging-version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2020;47(3):579-91. doi: 10.1007/s00259-019-04614-y.

80. Ceci F, Castellucci P, Bianchi A, Nanni C, Guerra L, Morbelli S, Calcagni ML, Grana C, De Rimini ML, Farsad M, Gruppo di Studio Oncologia. *Raccomandazioni procedurali per l'*imaging *PET/TC con 68Ga-PSMA-11 o 18F-PSMA-1007*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2021. (AIMN Vrs. 01/2021)

81. Fendler WP, Eiber M, Beheshti M, Bomanji J, Calais J, Ceci F, Cho SY, Fanti S, Giesel FL, Goffin K, Haberkorn U, Jacene H, Koo PJ, Kopka K, Krause BJ, Lindenberg L, Marcus C, Mottaghy FM, Oprea-Lager DE, Osborne JR, Piert M, Rowe SP, Schöder H, Wan S, Wester HJ, Hope TA, Herrmann K. PSMA PET/CT: joint EANM procedure guideline/SNMMI procedure standard for prostate cancer imaging 2.0. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2023;50(5):1466-86. doi: 10.1007/s00259-022-06089-w.

82. Albano D, Ambrosini V, Arnone A, Nanni C, D'Arienzo D, Frega N, Ravelli I, Aricò D, Bianchi A, Celli M, Ferrari C, Panareo S, Pepe G, Rizzo A, Gruppo di Studio Oncologia. *Raccomandazioni Procedurali per l'*Imaging *Oncologico con composti DOTA-peptidi*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vers. 2/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/oncologia/RACCOMANDAZIONI%20PROCEDURALI%20PER%20L%E2%80%99IMAGING%20ONCOLOGICO%20CON%2018F-DOPA%20PET.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

83. Hope TA, Allen-Auerbach M, Bodei L, Calais J, Dahlbom M, Dunnwald LK, Graham MM, Jacene HA, Heath CL, Mittra ES, Wright CL, Fendler WP, Herrmann K, Taïeb D, Kjaer A. SNMMI procedure standard/EANM practice guideline for SSTR PET: imaging neuroendocrine tumors. *J Nucl Med.* 2023;64(2):204-10. doi: 10.2967/jnumed.122.264860.

84. Farsad M, Laghai I, Sestini S, Spimpolo A. *Raccomandazioni procedurali per l'*imaging *neuro-oncologico PET/TC*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2023. (AIMN Vers. 1/2023). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/imaging-pet-in-neuro-oncologia/NEURO-ONCOLOGICO%20PET_TC_2023.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

85. Verger A, Tolboom N, Cicone F, Chang SM, Furtner J, Galldiks N, Gempt J, Guedj E, Huang RY, Johnson DR, Law I, Le Rhun E, Short SC, Bent MJVD, Weehaeghe DV, Vogelbaum MA, Wen PY, Albert NL, Preusser M. Joint EANM/EANO/RANO/SNMMI practice guideline/procedure standard for PET imaging of brain metastases: version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2025;52(5):1822-39. doi: 10.1007/s00259-024-07038-5.

86. Law I, Albert NL, Arbizu J, Boellaard R, Drzezga A, Galldiks N, la Fougère C, Langen KJ, Lopci E, Lowe V, McConathy J, Quick HH, Sattler B, Schuster DM, Tonn JC, Weller M. Joint EANM/EANO/RANO practice guidelines/SNMMI procedure standards for imaging of gliomas using PET with radiolabelled amino acids and [18F]FDG: version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2019;46(3):540-57. doi: 10.1007/s00259-018-4207-9.

87. Albert NL, Preusser M, Traub-Weidinger T, Tolboom N, Law I, Palmer JD, Guedj E, Furtner J, Fraioli F, Huang RY, Johnson DR, Deroose CM, Herrmann K, Vogelbaum M, Chang S, Tonn JC,

Weller M, Wen PY, van den Bent MJ, Verger A, Ivanidze J, Galldiks N. Joint EANM/EANO/RANO/SNMMI practice guideline/procedure standards for diagnostics and therapy (theranostics) of meningiomas using radiolabeled somatostatin receptor ligands: version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2024;51(12):3662-79. doi: 10.1007/s00259-024-06783-x.

88. Manca G, Vaggelli L, Mazzuca N, Gruppo di Studio di Chirurgia Radioguidata. *Raccomandazioni procedurali per la linfoscintigrafia e la ricerca del linfonodo sentinella nel carcinoma mammario.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2018. (AIMN Revisione 2018). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/chirurgia-radioguidata/LG%20Mammella%20definitive%2028.03.18.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

89. Manca G, Mazzarri S, Raccomandazioni *Procedurali per la linfoscintigrafia e la ricerca del linfonodo sentinella nel melanoma.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2018. (AIMN Revisione 2018). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/chirurgia-radioguidata/LG%20Melanoma%20definitive.doc%2028.03.18.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

90. Manca G, Mazzarri S. *Raccomandazioni procedurali per la linfoscintigrafia e la ricerca del linfonodo sentinella nei carcinomi del cavo orale*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2018. (AIMN Revisione 2018). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/chirurgia-radioguidata/LSMazzarri%20Manca_ca%20cavo%20orale2018.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

91. Collarino A, Fuoco V, Maccauro M, Gruppo di Studio di Chirurgia Radioguidata. *Raccomandazioni procedurali per la linfoscintigrafia e la ricerca del linfonodo sentinella nelle neoplasie della vulva*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2018. (AIMN Revisione 2018). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/chirurgia-radioguidata/LG_AIMN_K_Vulva.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

92. Collarino A, Fuoco V, Maccauro M, Gruppo di Studio di Chirurgia Radioguidata. *Raccomandazioni procedurali per la linfoscintigrafia e la ricerca del linfonodo sentinella nelle neoplasie dell'endometrio uterino*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2018. (AIMN Revisione 2018). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/chirurgia-radioguidata/LG_AIMN_K_endometrio.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

93. Giammarile F, Schilling C, Gnanasegaran G, Bal C, Oyen WJG, Rubello D, Schwarz T, Tartaglione G, Miller RN, Paez D, van Leeuwen FWB, Valdés Olmos RA, McGurk M, Delgado Bolton RC. The EANM practical guidelines for sentinel lymph node localisation in oral cavity squamous cell carcinoma. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2019;46(3):623-37. doi: 10.1007/s00259-018-4235-5.

94. Giammarile F, Bozkurt MF, Cibula D, Pahisa J, Oyen WJ, Paredes P, Olmos RV, Sicart SV. The EANM clinical and technical guidelines for lymphoscintigraphy and sentinel node localization in gynaecological cancers. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2014;41(7):1463-77. doi: 10.1007/s00259-014-2732-8.

95. Giammarile F, Alazraki N, Aarsvold JN, Audisio RA, Glass E, Grant SF, Kunikowska J, Leidenius M, Moncayo VM, Uren RF, Oyen WJ, Valdés Olmos RA, Vidal Sicart S. The EANM and SNMMI practice guideline for lymphoscintigraphy and sentinel node localization in breast cancer. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2013;40(12):1932-47. doi: 10.1007/s00259-013-2544-2.

96. Bluemel C, Herrmann K, Giammarile F, Nieweg OE, Dubreuil J, Testori A, Audisio RA, Zoras O, Lassmann M, Chakera AH, Uren R, Chondrogiannis S, Colletti PM, Rubello D. EANM practice guidelines for lymphoscintigraphy and sentinel lymph node biopsy in melanoma. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2015;42(11):1750-66. doi: 10.1007/s00259-015-3135-1.

97. Rubini G, Ferrari C, Iuele F. *Raccomandazioni procedurali per lo studio dell'apparato scheletrico.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vrs. 03/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/apparato-scheletrico/RP%20scheletro_2025.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

98. Van den Wyngaert T, Strobel K, Kampen WU, Kuwert T, van der Bruggen W, Mohan HK, Gnanasegaran G, Delgado-Bolton R, Weber WA, Beheshti M, Langsteger W, Giammarile F, Mottaghy FM, Paycha F; EANM Bone & Joint Committee and the Oncology Committee. The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2016;43(9):1723-38. doi: 10.1007/s00259-016-3415-4.

99. Lauri C, Casali M, Signore A, Lazzeri E, Laudicella R, Albano D, Leccisotti L, Buschiazzo A, Gruppo Italiano di Studio "Infezioni - Infiammazioni". Imaging *medico nucleare delle infezioni e delle infiammazioni*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Revisione 04/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/infezioni-infiammazioni/LGP%20Infezioni%20e%20infiammazioni%2017.04.25.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

100. de Vries EF, Roca M, Jamar F, Israel O, Signore A. Guidelines for the labelling of leucocytes with (99m)Tc-HMPAO. Inflammation/Infection Taskgroup of the European Association of Nuclear Medicine. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2010;37(4):842-8. doi: 10.1007/s00259-010-1394-4. Erratum in: *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2010;37(6):1235.

101. Slart RHJA, Glaudemans AWJM, Gheysens O, Lubberink M, Kero T, Dweck MR, Habib G, Gaemperli O, Saraste A, Gimelli A, Georgoulias P, Verberne HJ, Bucerius J, Rischpler C, Hyafil F, Erba PA; 4Is Cardiovascular Imaging: a joint initiative of the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI); European Association of Nuclear Medicine (EANM). Procedural recommendations of cardiac PET/CT imaging: standardization in inflammatory-, infective-, infiltrative-, and innervation (4Is)-related cardiovascular diseases: a joint collaboration of the EACVI and the EANM. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2021;48(4):1016-39. doi: 10.1007/s00259-020-05066-5.

102. Bebbington NA, Haddock BT, Bertilsson H, Hippeläinen E, Husby EM, Tunninen VI, Söderberg M. A Nordic survey of CT doses in hybrid PET/CT and SPECT/CT examinations. *EJNMMI Phys*. 2019 Dec 16;6(1):24. doi: 10.1186/s40658-019-0266-7.

103. Zorz A, Morzenti S, Bianchi C, Campanaro F, Monte F, Ponti E, Berti S, Erba PA, Guerra L, Poli GL. Diagnostic Reference Levels in nuclear medicine for Positron Emission Tomography examinations: First Italian multicenter data collection. *Phys Med.* 2025 May;133:104984. doi: 10.1016/j.ejmp.2025.104984.

104. Jacobs F, Thierens H, Piepsz A, Bacher K, Van de Wiele C, Ham H, Dierckx RA. Optimized tracer-dependent dosage cards to obtain weight independent effective doses. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging 2005 May; 32(5):581-8.

105. Watson, DJ, Coakley KS. Paediatric CT reference doses based on weight and CT dosimetry phantom size: local experience using a 64-slice CT scanner. *Pediatr Radiol.* 2010; 40:693-703.

106. Lassmann, M, Treves ST, EANM/SNMMI Paediatric Dosage Harmonization Working Group. Paediatric radiopharmaceutical administration: harmonization of the 2007 EANM paediatric dosage card (version 1.5.2008) and the 2010 North American consensus guidelines. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2014;41:1036-41.

107. Treves ST, Lassmann M. International guidelines for pediatric radiopharmaceutical administered activities. EANM/SNMMI Pediatric Dosage Harmonization Working Group. *J Nucl Med*. 2014;55(6):869-7.

108. Piepsz A, Hahn K, Roca I, Ciofetta G, Toth G, Gordon I, *et al.* A radiopharmaceutical schedule for imaging in paediatrics. *Eur J Nucl Med*. 1990;17:127-9

109. Lassmann M, Treves ST. Pediatric Radiopharmaceutical Administration: harmonization of the 2007 EANM Paediatric Dosage Card (Version 1.5.2008) and the 2010 North American Consensus guideline. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2014 Aug;41(8):1636. doi: 10.1007/s00259-014-2817-4.

110. Lassmann M, Biassoni L, Monsieurs M, Franzius C. The new EANM paediatric dosage card: additional notes with respect to F-18. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2008;35(9):1666-1668. doi:10.1007/s00259-008-0799-9.

111. Tran-Gia J, Eberlein U, Lassmann M, Mauz-Körholz C, Körholz D, Zuccetta P, Bar-Sever Z, Rosner U, Georgi TW, Sabri O, Kluge R, Piccardo A, Kurch L. Analysis of image data from the EuroNet PHL-C2 trial indicates a potential reduction in injected F-18 FDG activities in children: a proposal to update the EANM Paediatric Dosage Card. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2023;51(2):405-411. doi: 10.1007/s00259-023-06396-w.

112. Avramova-Cholakova S, Dimcheva M, Petrova E, et al. Patient doses from hybrid SPECT-CT procedures. *Radiat Prot Dosimetry.* 2015;165(1-4):424-429

113. Dickson J, Eberlein U, Lassmann M. The effect of modern PET technology and techniques on the EANM paediatric dosage card. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2022 May;49(6):1964-1969. doi: 10.1007/s00259-021-05635-2.

4. VALORI DI LDR PER LA PRATICA DI RADIOLOGIA INTERVENTISTICA E MEDICINA NUCLEARE

4.1. Radiologia interventistica adulto

La Tabella 4.1 riporta i valori di LDR nazionali raccomandati per la pratica italiana per le procedure di radiologia interventistica dell'adulto ricavati dall'indagine nazionale ISS-San Matteo.

Tabella 4.1. Valori di LDR per radiologia interventistica nella pratica radiologica italiana

Procedura	Valori di LDR		
	KAP ($Gycm^2$)	Tempo fluoroscopia (min)	$K_{a,ref}$ (Gy)
Angiografia cerebrale (tutte)	191	18	1,25
semplice	71		
media	117		
complessa	198		
Embolizzazione aneurismi cerebrali (tutte)	252	55	2,88
semplice	136		
media	181		
complessa	268		
Trombectomia meccanica dell'ictus ischemico (tutte)	169	33	1,15
semplice	72		
media	132		
complessa	166		
PTA e/o stenting carotideo	62	24	0,35
Salvataggio d'arto	24	25	0,13
TACE	255	30	1,69
CPRE	18	5	0,13
Interventistica biliare percutanea	45	13	0,27
TIPS (Valore tipico)	229	26	0,65
Vertebroplastica (tutte)	91	14	1,12
1 vertebra	85	11	0,79
2 vertebre	107	16	1,07
3 o più vertebre	117	24	1,46
Endoprotesi aorta addominale (EVAR) (tutte)	134	21	0,72
semplice	67		
media	94		
complessa	172		
Coronarografia	38	5	0,47
Coronarografia (con tecnologia con riduzione dose)	28	5	0,37
Angioplastica e/o stenting coronarico (CA+PCI) (tutte)	89	19	1,46
semplice	46		
media	70		
complessa	95		
TAVI	184	28	1,29
Impianti PM-ICD			
monocamerali	11	4	0,05
bicamerali	18	5	0,09
biventricolari	68	19	0,48
Ablazione cardiaca con radiofrequenza			
complessa con MEA	38	15	0,17
complessa senza MEA	52	34	0,36
semplice con MEA	15	6	0,09
semplice senza MEA	14	14	0,19
Studi di elettrofisiologia*	12	5	0,04

* I valori qui riportati si riferiscono a procedure eseguite integralmente con guida fluoroscopica

Come si evince dalla Tabella 4.1, per la vertebroplastica i valori di LDR sono forniti considerando tutte le vertebre trattate e, ai fini della complessità, in funzione del numero di vertebre trattate.

In Tabella 4.2 si riportano in aggiunta valori di LDR e valori tipici ricavati per alcune procedure e in particolare:

- per le procedure di angiografia cerebrale, embolizzazione aneurismi cerebrali e trombectomia meccanica dell'ictus ischemico sono stati ricavati i valori di LDR per i soli sistemi biplano e i valori tipici per i sistemi monoplano;
- per l'angiografia cerebrale sono stati ricavati anche valori di LDR in funzione del numero dei vasi trattati (in alternativa ai valori di LDR in funzione della complessità);
- per le EVAR sono stati ricavati dei valori tipici in funzione della tipologia di apparecchiatura (fissi vs mobili) rispettivamente con un campione di 267 procedure su 7 angiografi fissi e 155 su 5 archi a C mobili; per le procedure CPRE sono stati ricavati valori tipici per le sole unità mobili con un campione di 375 procedure eseguite su 9 archi a C;
- per le TAVI, gli impianti bicamerali e biventricolari sono stati ricavati i valori tipici per le procedure eseguite con sistemi con tecnologia della riduzione della dose.

Tabella 4.2. Valori di LDR e valori tipici per alcune procedure nella pratica radiologica italiana (1-3)

Procedura	KAP (Gycm^2)	FT (min)	Ka,r (Gy)	Valore
Angiografia cerebrale (1 vaso)	67	11	0,44	LDR
Angiografia cerebrale (2 vasi)	112	17	1,00	LDR
Angiografia cerebrale (3 vasi)	228	19	1,49	LDR
Angiografia cerebrale (biplano)	223	19	1,04	LDR
Angiografia cerebrale (monoplano)	98	9	0,57	Valore tipico
Embolizzazione cerebrale (biplano)	303	60	3,43	LDR
Embolizzazione cerebrale (monoplano)	120	24	1,36	Valore tipico
ICTUS (biplano)	189	36	1,04	LDR
ICTUS (monoplano)	82	16	0,48	Valore tipico
EVAR (fissi)	89	18	0,66	Valore tipico
EVAR (mobili)	92	14	0,44	Valore tipico
CPRE (mobili)	9	2	0,02	Valore tipico
TAVI (riduzione dose)	71	21	0,50	Valore tipico
Impianti bicamerali (riduzione dose)	2	4	0,03	Valore tipico
Impianti biventricolari (riduzione dose)	32	18	0,220	Valore tipico

Per le procedure di interventistica biliare percutanea è stata evidenziata una dipendenza statisticamente significativa dal BMI: passando dalla classe di BMI<25 kg/m^2 alla classe di BMI >30 kg/m^2, i valori di KAP e $K_{a,r}$ aumentano di un fattore 2,3 (2)

Per le CA è stato ricavato anche il valore di LDR per le procedure eseguite con sistemi con tecnologia per la riduzione della dose. Un valore distinto non viene fornito per le CA+PTCA in quanto non si hanno differenze statisticamente significative.

Sia per le CA che per le CA+PTCA è stata evidenziata una dipendenza statisticamente significativa dal BMI. Per le CA passando dalla classe di BMI<25 kg/m^2 alla classe di BMI >30 kg/m^2, i valori di KAP e $K_{a,r}$ aumentano di un fattore 2,4 e 1,9 rispettivamente. Per le CA+PTCA passando dalla classe di BMI<25 kg/m^2 alla classe di BMI >30 kg/m^2, i valori di KAP e $K_{a,r}$ aumentano di un fattore 2.

I sistemi MEA limitano l'uso della guida fluoroscopica: la riduzione del tempo di fluoroscopia comporta una riduzione della dose al paziente, in termini di KAP, compresa tra il 15% (4) e il 25% (5). Nell'indagine nazionale ISS-San Matteo la riduzione del tempo di fluoroscopia per le

ablazioni semplici non comporta una riduzione in termini di KAP ma in termini di $K_{a,r}$ (circa 50%). Per le ablazioni complesse la riduzione del tempo di fluoroscopia comporta una riduzione della dose al paziente sia in termini di KAP che di $K_{a,r}$ (26% e 50% rispettivamente).

Attualmente anche le procedure di impianti di PM vengono eseguite in alcuni centri con l'ausilio dei sistemi MEA. Per gli impianti eseguiti con MEA si può far riferimento al documento della Confederazione Svizzera (6) che suggerisce i seguenti LDR: KAP 5 $Gycm^2$, tempo di fluoroscopia 5 min e $K_{a,r}$ 0,286 Gy.

Per gli studi di elettrofisiologia si fa riferimento solo a indagini eseguite senza sistemi MEA. Per gli studi eseguiti con MEA si può far riferimento al documento della Confederazione Svizzera (6) che suggerisce i seguenti LDR: KAP 5 $Gycm^2$, tempo di fluoroscopia 5 min e $K_{a,r}$ 0,286 Gy.

4.2. Medicina nucleare diagnostica adulto

La Tabella 4.3 riporta i valori di LDR raccomandati per la pratica diagnostica di medicina nucleare per l'adulto.

Tabella 4.3. Valori di LDR espressi in attività (MBq) per procedure dell'adulto nella pratica medico nucleare italiana per procedura e regione anatomica (rif.)

Procedura	Radiofarmaco	Valori di LDR e/o intervallo	Rif.
SPECT cerebrale perfusoria	Tc-99m ECD o Tc-99m HMPAO	740 (555-1110)	(7, 8)
SPECT cerebrale con traccianti recettoriali presinaptici	I-123 FP-CIT	185 (150-250)	(7)
PET cerebrale – metabolismo glucidico	F-18 FDG	185	(7)
PET cerebrale – aggregati di amiloide	F-18 florbetapir	370	(7, 9)
	F-18 flutemetamolo	185	
	F-18 florbetaben	300 (260-360)	
Scintigrafia tiroidea	Tc-99m pertecnetato	70-150	(10)
	I-123 ioduro	7-20	
Scintigrafia delle metastasi tiroidee	I-131 ioduro	37-185	(11, 12)
Scintigrafia paratiroidea	Tc-99m MIBI	370-740	(13)
	Tc99m pertecnentato	60-150	
PET - paratiroidi	F-18 Colina	100-300	(13)
	C-11 Metionina	370-900	
Scintigrafia di perfusione miocardica	Tc-99m tetrofosmina o Tc-99m MIBI	370-1100 (Pt1g) 740/esame (Pt2g)	(14)
PET studio di perfusione miocardica	N-13 ammonia	370-740	(14)
	Rb-82	750-1550 (3D)	
PET studio della vitalità miocardica	F-18 FDG	185-555	(14)
Scintigrafia per amiloidosi cardiaca	Tc-99m difosfonati	300-740	(14)
Scintigrafia di perfusione polmonare	Tc-99m MAA	100-150	(15)
Scintigrafia renale sequenziale	Tc-99m DTPA	200	(16)
	Tc-99m MAG3	160	
Scintigrafia renale statica	Tc-99m DMSA	40-160	(16)

Procedura	Radiofarmaco	Valori di LDR e/o intervallo	Rif.
PET oncologico	F-18 FDG	2-4 espresso in MBq/kg	(17)
	F-18 colina	3-4 espresso in MBq/kg	(18)
	F-18 fluciclovina	370	(19, 20)
	Ga-68 PSMA-11	1,8-2,2 espresso in MBq/kg	(21, 22)
	F-18 PSMA-1007	4 espresso in MBq/kg	(21, 22)
	F-18 DCFPyL	296-370	(21, 22)
	Ga-68 DOTA	100-200	(23, 24)
PET - neuro-oncologia	F-18 FET	185-200	(25)
	C-11 MET	370-555	(25)
	F-18 DOPA	185-200	(24, 26-28)
	F-18 FDG	185-200	(24, 26-28)
	Ga-68 DOTA	100-200	(24, 26-28)
Linfonodi sentinella	Tc-99m nanocolloidi	Mammella: 5-30 (3-6 h prima, Pt1g) 30-74 (15-18 h prima, Pt2g) Melanoma e cavo orale: 16-40 (4-8/aliquota, Pt1g) 37-74 (Pt2g) Vulva: 148 (37 x 4 aliquote) (Pt1g) 296 (74 x 4 aliquote) (Pt2g) Endometrio: 40 (10 x 4 aliquote) (Pt1g) 185 (46,25 x 4 aliquote) (Pt2g)	(29-33)
Scintigrafia ossea	Tc-99m fosfati e fosfonati	300-740	(34, 35)
Scintigrafia di infezioni / infiammazioni	Tc-99m globuli bianchi	370-740	(36, 37)
PET per infezioni /infiammazioni	F18-FDG	2,5-5 espresso in MBq/kg	(36, 38)

Pt1g: protocollo a 1 giorno; Pt2g: protocollo a 2 giorni.

La Tabella 4.4 riporta i valori di LDR raccomandati per la pratica diagnostica di medicina nucleare per l'adulto per la componente TC di sistemi ibridi con finalità di correzione dell'attenuazione e localizzazione anatomica. Per gli LDR della TC diagnostica eseguita nell'ambito di sistemi ibridi, si rimanda ai corrispondenti LDR nazionali (39).

Per le attività somministrate, espresse in MBq, relative agli esami più comuni e ai radiofarmaci di uso corrente, si applicano le seguenti indicazioni:

- I valori proposti si collocano ad un livello "medio-alto" al fine di agevolare la loro applicazione nella pratica clinica. Questa scelta permette inoltre di evitare la necessità di aumentare l'attività somministrata per l'esecuzione, a completamento dell'indagine planare, della tomografia (SPECT) di un distretto, che spesso non è prevedibile a priori, ma solo dopo la valutazione dell'indagine planare (43).
- Per alcune indagini nelle quali il radiofarmaco si concentra in modo predominante in un singolo organo (es. scintigrafia tiroidea, imaging di perfusione polmonare), è consigliato somministrare un'attività standard per tutti i pazienti adulti. Per altre indagini è consigliato, invece, tener conto del peso corporeo (necessariamente, per bambini, adolescenti e pazienti francamente sottopeso) (43). Si può considerare un'attività "fissa" per pazienti gravemente obesi (44).

Tabella 4.4. Valori di LDR scelti per la componente TC di sistemi ibridi per la correzione dell'attenuazione e la localizzazione nella pratica medico nucleare italiana (rif.)

TC in imaging ibrido PET/TC e SPECT/TC	Parametro	Valori di LDR	Rif.
TC per la correzione dell'attenuazione e la localizzazione			
PET/TC in oncologia (corpo intero standard	CTDIvol DLP	4,5 mGy 450 mGycm	(40)
PET/TC corpo intero vertice-piedi	CTDIvol DLP	5 mGy 800 mGycm	(40)
PET/TC cerebrali	CTDIvol DLP	15 mGy 410 mGycm	(40)
SPECT/TC osso	CTDIvol DLP	4,0 mGy 215 mGycm	(41)
SPECT/TC paratiroidi	CTDIvol DLP	5,7 mGy 200 mGycm	(41)
Studi PET/TC con tomografi senza algoritmi iterativi TC e/o senza modulazione della dose	CTDIvol DLP	8 mGy 750 mGycm	(42)
TC per la correzione dell'attenuazione			
PET/TC e SPECT/TC miocardica	CTDIvol DLP	2,2 mGy 53 mGycm	(41)

- In certi casi è necessario modulare l'attività somministrata in relazione ad alcune necessità applicative e cliniche. Ad esempio, per quanto riguarda la cardiologia nucleare, gli LDR tengono conto della possibilità di eseguire l'indagine scintigrafia miocardica da sforzo e a riposo con due protocolli, rispettivamente in 1 giorno o 2 giorni, e questo comporta la somministrazione di attività differenti per ottenere un imaging di qualità, evitando interferenza da attività residua. Lo stesso, per quanto riguarda la linfo-scintigrafia per la ricerca del linfonodo sentinella, per cui:
  - l'attività da somministrare deve essere differente a seconda del "*timing*" dell'intervento (e quindi dell'identificazione del linfonodo in sala operatoria), che può essere previsto per lo stesso giorno o per il giorno successivo;
  - l'identificazione del linfonodo sentinella nel melanoma prevede la somministrazione di un numero di aliquote di radiofarmaco intorno alla cicatrice chirurgica che può essere variabile, in relazione a dimensioni e sede della cicatrice stessa.
- Nel caso di impiego di tomografi digitali, caratterizzati da una sensibilità maggiore rispetto ai tomografi standard, si raccomanda di attestarsi a valori di attività somministrata ai limiti inferiori dei range riportati in Tabella 4.3 e, quando possibile, di ottimizzare i protocolli di acquisizione e ricostruzione seguendo gli standard EARL.
- Il continuo miglioramento tecnologico (hardware e software) comporta, fra l'altro, un incremento della sensibilità delle apparecchiature di acquisizione, e di questo bisognerà tener conto, nel tempo, nell'aggiornamento dei valori di LDR. In particolare, sarà molto importante tenere conto dell'elevata sensibilità delle apparecchiature PET LAFOV rispetto ai tomografi standard. Tuttavia, allo stato attuale, non sono ancora disponibili dati sufficientemente consolidati per consentire la definizione di valori di LDR nazionali condivisi. In tali circostanze si suggerisce, ai centri dotati di queste apparecchiature, di stabilire LDR "locali", come previsto dall'ICRP 135, in attesa di una maggiore armonizzazione della pratica clinica.

– L'attività somministrata per singolo paziente può essere modificata per ragioni cliniche, (es. aumentata per ridurre il tempo di acquisizione per mantenere la qualità dell'imaging in un paziente incapace di conservare a lungo la necessaria immobilità); se questo però diventa la regola, è necessario stilare protocolli 'locali' specifici che ne tengano conto (44).

4.3. Medicina nucleare diagnostica paziente pediatrico

Per i valori di LDR della diagnostica di medicina nucleare pediatrica si può fare riferimento alla metodologia descritta al paragrafo 3.3.2 relativa alla *EANM dosage card* del 2016 (45).

Nel caso di sistemi di acquisizione ibridi PET/TC e SPECT/TC i livelli diagnostici di riferimento delle procedure di medicina nucleare e di quelle TC si riferiscono a modalità diverse che utilizzano grandezze degli LDR differenti; in tali casi è opportuno stabilire valori dei rispettivi LDR separatamente per ciascuna modalità (44).

La Tabella 4.5 riporta i valori di LDR raccomandati per la pratica diagnostica di medicina nucleare per il paziente pediatrico e la componente TC di sistemi ibridi PET-TC per acquisizioni della regione torace-addome-pelvi (46) per varie fasce di età, per la sola correzione dell'attenuazione, CTAC, e per correzione dell'attenuazione e localizzazione, CTAC +CTL.

Per gli LDR della TC diagnostica eseguita nell'ambito di sistemi ibridi, si rimanda ai corrispondenti LDR nazionali (39).

Tabella 4.5. LDR riferiti alla TC con tomografi ibridi per acquisizioni Torace Addome Pelvi per PET/TC di pazienti di diversa età (46)

Età (anni)	CTDI vol (mGy)*	
	CTAC	CTAC+CTL
<1	0,6-0,8	1,1-1,5
1-5	0,7-1,0	1,4-2,0
5-10	0,8-1,3	1,6-2,6
10-15	1,1-1,7	2,1-3,4
>15	1,6-2,6	3,1-5,3

*gli intervalli di CTDIvol rappresentano la dose al fantoccio TC dose index 32-cm. Scanner più obsoleti potrebbero riportare protocolli body su pazienti pediatrici basati su fantoccio 16-cm. Per convertire le misure sopraripportate al fantoccio da 16-cm, moltiplicare i valori suddetti per 2.

Bibliografia

1. Cavallari M, D'Ercole L, Grande S, Klersy C, Padovani R, Orlacchio A, et al. Establishing updated diagnostic reference levels for interventional radiology: a national Italian survey incorporating procedure complexity indices. Part II: interventional neuroradiology. *Eur J Radiol.* 2026;196:112662. doi:10.1016/j.ejrad.2026.112662.
2. Cavallari M, Grande S, Palma A, Klersy C, Padovani R, Orlacchio A, et al. Establishing updated diagnostic reference levels for interventional radiology: a national Italian survey incorporating procedure complexity indices. *Eur J Radiol.* 2026;195:112648. doi:10.1016/j.ejrad.2025.112648.
3. D'Ercole L, Palma A, Cavallari M, Padovani R, Klersy C, Bernardi G, et al. National survey to update the Italian diagnostic reference levels in interventional cardiology. *Eur J Radiol.* 2026;112976. doi:10.1016/j.ejrad.2026.112976.

4. Casella M, Dello Russo A, Pelargonio G, Del Greco M, Zingarini G, Piacenti M, et al. Near zerO fluoroscopic exPosure during catheter ablAtion of supRavenTricular arrhYthmias: the NO-PARTY multicentre randomized trial. *Europace*. 2016;18:1565-1572.
5. See J, Amora JL, Lee S, Lim P, Teo WS, Tan BY, et al. Non-fluoroscopic navigation systems for radiofrequency catheter ablation for supraventricular tachycardia reduce ionising radiation exposure. *Singapore Med J.* 2016;57(7):390-395.
6. Ufficio Federale della Sanità Pubblica. Guida R-06-05. Livelli diagnostici di riferimento (LDR) per applicazioni di radiologia interventistica. Revisione 3, 31 gennaio 2018. Berna: Confederazione Svizzera; 2018.
7. Nobili F, Guerra UP. *Raccomandazioni procedurali in neurologia.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2017. (AIMN Vers 07/2017). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/neurologia/Linee_Guida_procedurali_vrs_2025.pdf?version=5.7. ultima consultazione 26 febbraio 2026
8. Kapucu OL, Nobili F, Varrone A, Booij J, Vander Borght T, Någren K, Darcourt J, Tatsch K, Van Laere KJ. EANM procedure guideline for brain perfusion SPECT using 99mTc-labelled radiopharmaceuticals, version 2. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2009 Dec;36(12):2093-102. doi: 10.1007/s00259-009-1266-y.
9. Minoshima S, Drzezga AE, Barthel H, Bohnen N, Djekidel M, Lewis DH, Mathis CA, McConathy J, Nordberg A, Sabri O, Seibyl JP, Stokes MK, Van Laere K. SNMMI Procedure Standard/EANM Practice Guideline for Amyloid PET Imaging of the Brain 1.0. *J Nucl Med.* 2016;57(8):1316-22. doi: 10.2967/jnumed.116.174615.
10. Rovera G, Zagaria L, Salvatori M. *Raccomandazioni procedurali in endocrinologia*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vrs. 04/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/endocrinologia/Endocrinologia_Tiroide_14-04-2025.pdf?version=5.7. ultima consultazione 30/7/2026
11. Avram AM, Giovanella L, Greenspan B, Lawson SA, Luster M, Van Nostrand D, Peacock JG, Ovčariček PP, Silberstein E, Tulchinsky M, Verburg FA, Vrachimis A. SNMMI Procedure standard/EANM practice guideline for nuclear medicine evaluation and therapy of differentiated thyroid cancer: Abbreviated version. *J Nucl Med.* 2022;63(6):15N-35N.
12. Luster M, Clarke SE, Dietlein M, Lassmann M, Lind P, Oyen WJ, Tennvall J, Bombardieri E; European Association of Nuclear Medicine (EANM). Guidelines for radioiodine therapy of differentiated thyroid cancer. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2008;35(10):1941-59. doi: 10.1007/s00259-008-0883-1.
13. Bruno I, Caldarella C. *Scintigrafia paratiroidea.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2017. (AIMN Vrs. 3/2017). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/endocrinologia/Paratiroidi_rev%2020250415.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026
14. Gruppo Italiano di Cardiologia Nucleare. *Raccomandazioni procedurali in cardiologia.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vrs. 03/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/cardiologia/RP_AIMN_cuore%202025_rev_DG.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026
15. Rossini P, De Biasi V. *Raccomandazioni procedurali per lo studio polmonare*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vers. 2025) Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-

procedurali/pneumologia/RP%20AIMN%20Polmone%202025.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

16. De Palma D. *Raccomandazioni procedurali in nefro-urologia*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vrs. 04/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/nefro-urologia/LG%20AIMN%20nefro-uro%20v.2025.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

17. Albano D, Ambrosini V, Arnone A, Nanni C, D'Arienzo D, Frega N, Ravelli I, Aricò D, Bianchi A, Celli M, Ferrari C, Panareo S, Pepe G, Rizzo A, Gruppo di Studio Oncologia. *Raccomandazioni procedurali per l'*imaging *oncologico con composti DOTA-peptidi.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vers. 2/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/oncologia/RACCOMANDAZIONI%20PROCEDURALI%20PER%20L%E2%80%99IMAGING%20ONCOLOGICO%20CON%2018F-DOPA%20PET.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

18. Evangelista L, Gruppo di Studio Oncologia. *Raccomandazioni procedurali per l'*imaging *oncologico con 18F - COLINA PET/TC.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2017. (AIMN Vers. 1/2017). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/oncologia/4_Imaging%20Oncologico%20con%2018F%20Colina%20(vers%20%202)%20(1).pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

19. Nanni C, Zanoni L, Bach-Gansmo T, Minn H, Willoch F, Bogsrud TV, Edward EP, Savir-Baruch B, Teoh E, Ingram F, Fanti S, Schuster DM. [18F]Fluciclovine PET/CT: joint EANM and SNMMI procedure guideline for prostate cancer imaging-version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2020;47(3):579-91. doi: 10.1007/s00259-019-04614-y.

20. Filippi L, Camedda R, Lanfranchi F, Albano D, Aricò D, Celli M, Amadori D, Ferrari C, Nanni C, Panareo S, Pepe G, Rizzo A. *Raccomandazioni procedurali per l'*imaging *PET con 18F-Fluciclovina*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vers. 1 05/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/oncologia/RACCOMANDAZIONI%20PROCEDURALI%20PER%20L%E2%80%99IMAGING%20PET%20CON%2018F-FLUCICLOVINA.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

21. Fendler WP, Eiber M, Beheshti M, Bomanji J, Calais J, Ceci F, Cho SY, Fanti S, Giesel FL, Goffin K, Haberkorn U, Jacene H, Koo PJ, Kopka K, Krause BJ, Lindenberg L, Marcus C, Mottaghy FM, Oprea-Lager DE, Osborne JR, Piert M, Rowe SP, Schöder H, Wan S, Wester HJ, Hope TA, Herrmann K. PSMA PET/CT: joint EANM procedure guideline/SNMMI procedure standard for prostate cancer imaging 2.0. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2023;50(5):1466-86. doi: 10.1007/s00259-022-06089-w.

22. Ceci F, Castellucci P, Bianchi A, Nanni C, Guerra L, Morbelli S, Calcagni ML, Grana C, De Rimini ML, Farsad M, Gruppo di Studio Oncologia. *Raccomandazioni procedurali per l'*imaging *PET/TC con 68Ga-PSMA-11 o 18F-PSMA-1007*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2021. (AIMN Vrs. 01/2021)

23. Hope TA, Allen-Auerbach M, Bodei L, Calais J, Dahlbom M, Dunnwald LK, Graham MM, Jacene HA, Heath CL, Mittra ES, Wright CL, Fendler WP, Herrmann K, Taïeb D, Kjaer A. SNMMI Procedure Standard/EANM Practice Guideline for SSTR PET: Imaging neuroendocrine tumors. *J Nucl Med.* 2023;64(2):204-10. doi: 10.2967/jnumed.122.264860.

24. Albano D, Camedda R, Pacella S, Panareo S, Ravelli I, Aricò D, Bianchi A, Celli M, Ferrari C, Nanni C, Pepe G, Rizzo A. *Raccomandazioni procedurali per l'*imaging *oncologico con [18F]FDG PET/TC*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Revisione 5/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/oncologia/RP_per%20l%E2%80%99imaging%20oncologico%20con%20[18F]%20FDG%20PET_TC.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

25. Farsad M, Laghai I, Sestini S, Spimpolo A. *Raccomandazioni procedurali per l'*imaging *neuro-oncologico PET/TC.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2023. (AIMN Vers. 1/2023). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/imaging-pet-in-neuro-oncologia/NEURO-ONCOLOGICO%20PET_TC_2023.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

26. Verger A, Tolboom N, Cicone F, Chang SM, Furtner J, Galldiks N, Gempt J, Guedj E, Huang RY, Johnson DR, Law I, Le Rhun E, Short SC, Bent MJVD, Weehaeghe DV, Vogelbaum MA, Wen PY, Albert NL, Preusser M. Joint EANM/EANO/RANO/SNMMI practice guideline/procedure standard for PET imaging of brain metastases: version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2025;52(5):1822-39. doi: 10.1007/s00259-024-07038-5.

27. Law I, Albert NL, Arbizu J, Boellaard R, Drzezga A, Galldiks N, la Fougère C, Langen KJ, Lopci E, Lowe V, McConathy J, Quick HH, Sattler B, Schuster DM, Tonn JC, Weller M. Joint EANM/EANO/RANO practice guidelines/SNMMI procedure standards for imaging of gliomas using PET with radiolabelled amino acids and [18F]FDG: version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2019;46(3):540-57. doi: 10.1007/s00259-018-4207-9.

28. Albert NL, Preusser M, Traub-Weidinger T, Tolboom N, Law I, Palmer JD, Guedj E, Furtner J, Fraioli F, Huang RY, Johnson DR, Deroose CM, Herrmann K, Vogelbaum M, Chang S, Tonn JC, Weller M, Wen PY, van den Bent MJ, Verger A, Ivanidze J, Galldiks N. Joint EANM/EANO/RANO/SNMMI practice guideline/procedure standards for diagnostics and therapy (theranostics) of meningiomas using radiolabeled somatostatin receptor ligands: version 1.0. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2024;51(12):3662-79. doi: 10.1007/s00259-024-06783-x.

29. Manca G, Vaggelli L, Mazzuca N, Gruppo di Studio di Chirurgia Radioguidata. *Raccomandazioni procedurali per la linfoscintigrafia e la ricerca del linfonodo sentinella nel carcinoma mammario.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2018. (AIMN Revisione 2018). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/chirurgia-radioguidata/LG%20Mammella%20definitive%2028.03.18.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

30. Manca G, Mazzarri S. *Raccomandazioni procedurali per la linfoscintigrafia e la ricerca del linfonodo sentinella nel melanoma.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2018. (AIMN Revisione 2018). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/chirurgia-radioguidata/LG%20Melanoma%20definitive.doc%2028.03.18.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

31. Manca G, Mazzarri S. *Raccomandazioni procedurali per la linfoscintigrafia e la ricerca del linfonodo sentinella nei carcinomi del cavo orale*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2018. (AIMN Revisione 2018). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/chirurgia-radioguidata/LSMazzarri%20Manca_ca%20cavo%20orale2018.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

32. Collarino A, Fuoco V, Maccauro M, Gruppo di Studio di Chirurgia Radioguidata. *Raccomandazioni procedurali per la linfoscintigrafia e la ricerca del linfonodo sentinella nelle neoplasie della vulva.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2018. (AIMN Revisione 2018). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/chirurgia-radioguidata/LG_AIMN_K_Vulva.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

33. Collarino A, Fuoco V, Maccauro M, Gruppo di Studio di Chirurgia Radioguidata. *Raccomandazioni procedurali per la linfoscintigrafia e la ricerca del linfonodo sentinella nelle neoplasie dell'endometrio uterino*. Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2018. (AIMN Revisione 2018). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/chirurgia-radioguidata/LG_AIMN_K_endometrio.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

34. Rubini G, Ferrari C, Iuele F. *Raccomandazioni procedurali per lo studio dell'apparato scheletrico.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Vrs. 03/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/apparato-scheletrico/RP%20scheletro_2025.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

35. Van den Wyngaert T, Strobel K, Kampen WU, Kuwert T, van der Bruggen W, Mohan HK, Gnanasegaran G, Delgado-Bolton R, Weber WA, Beheshti M, Langsteger W, Giammarile F, Mottaghy FM, Paycha F; EANM Bone & Joint Committee and the Oncology Committee. The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2016;43(9):1723-38. doi: 10.1007/s00259-016-3415-4.

36. Lauri C, Casali M, Signore A, Lazzeri E, Laudicella R, Albano D, Leccisotti L, Buschiazzo A, Gruppo Italiano di Studio "Infezioni - Infiammazioni". Imaging *medico nucleare delle infezioni e delle infiammazioni.* Milano: Associazione Italiana di Medicina Nucleare Imaging Molecolare e Terapia; 2025. (AIMN Revisione 04/2025). Disponibile all'indirizzo: https://aimn.it/soci/pdf/raccomandazioni-procedurali/infezioni-infiammazioni/LGP%20Infezioni%20e%20infiammazioni%2017.04.25.pdf?version=5.7; ultima consultazione 30/7/2026

37. de Vries EF, Roca M, Jamar F, Israel O, Signore A. Guidelines for the labelling of leucocytes with (99m)Tc-HMPAO. Inflammation/Infection Taskgroup of the European Association of Nuclear Medicine. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2010;37(4):842-8. doi: 10.1007/s00259-010-1394-4. Erratum in: Eur J Nucl Med Mol Imaging.2010;37(6):1235.

38. Slart RHJA, Glaudemans AWJM, Gheysens O, Lubberink M, Kero T, Dweck MR, Habib G, Gaemperli O, Saraste A, Gimelli A, Georgoulias P, Verberne HJ, Bucerius J, Rischpler C, Hyafil F, Erba PA; 4Is Cardiovascular Imaging: a joint initiative of the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI); European Association of Nuclear Medicine (EANM). Procedural recommendations of cardiac PET/CT imaging: standardization in inflammatory-, infective-, infiltrative-, and innervation (4Is)-related cardiovascular diseases: a joint collaboration of the EACVI and the EANM. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2021;48(4):1016-39. doi: 10.1007/s00259-020-05066-5.

39. Padovani R, Compagnone G, D'Ercole L, Orlacchio A, Bernardi G, De Ponti E, Marzola MC, Grande S, Palma A, Campanella F, Rosi A. *Livelli diagnostici di riferimento per la pratica nazionale di radiologia diagnostica e interventistica e di medicina nucleare diagnostica. Aggiornamento del Rapporto ISTISAN 17/33*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2020. (Rapporti ISTISAN 20/22 Rev).

40. Zorz A, Morzenti S, Bianchi C, Campanaro F, Monte F, Ponti E, Berti S, Erba PA, Guerra L, Poli GL. Diagnostic Reference Levels in nuclear medicine for Positron Emission Tomography examinations: First Italian multicenter data collection. *Phys Med.* 2025;133:104984. doi: 10.1016/j.ejmp.2025.104984.

41. Bebbington NA, Haddock BT, Bertilsson H, Hippeläinen E, Husby EM, Tunninen VI, Söderberg M. A Nordic survey of CT doses in hybrid PET/CT and SPECT/CT examinations. *EJNMMI Phys.* 2019;6(1):24. doi: 10.1186/s40658-019-0266-7.

42. Etard C, Celier D, Roch P, Aubert B. National survey of patient doses from whole-body FDG PET-CT examinations in France in 2011. *Radiat Prot Dosimetry*. 2012 Dec;152(4):334-8. doi: 10.1093/rpd/ncs066.

43. Avramova-Cholakova S, Dimcheva M, Petrova E, Garcheva M, Dimitrova M, Palashev Y, Vassileva J. Patient doses from hybrid SPECT-CT procedures. *Radiat Prot Dosimetry.* 2015;165(1-4):424-29.

44. International Commission on Radiological Protection. Diagnostic reference levels in medical imaging. *ICRP Publication 135*. Ann ICRP. 2017;46(1):1-144.

45. Lassmann M, Treves ST, for the EANM/SNMMI Paediatric Dosage Harmonization Working Group. Pediatric radiopharmaceutical administration: harmonization of the 2007 EANM Paediatric Dosage Card (Version 1.5.2008) and the 2010 North America Consensus guideline. *Eur J Nucl Med Mol* Imaging. 2014;41:1036-41.

46. Vali R, Alessio A, Balza R, Borgwardt L, Bar-Sever Z, Czachowski M, Jehanno N, Kurch L, Pandit-Taskar N, Parisi M, Piccardo A, Seghers V, Shulkin BL, Zucchetta P, Lim R. SNMMI Procedure Standard/EANM Practice Guideline on Pediatric 18F-FDG PET/CT for Oncology 1.0. *J Nucl Med.* 2021 Jan;62(1):99-110. doi: 10.2967/jnumed.120.254110.

5. APPLICAZIONE DEGLI LDR NELLA PRATICA CLINICA

5.1. Metodo di confronto con i valori di LDR

Gli LDR non si applicano alle esposizioni individuali di singoli pazienti: un livello diagnostico di riferimento è infatti definito per procedure standard destinate a gruppi standardizzati di pazienti o ad un fantoccio standard. Il confronto dei valori dosimetrici di ogni singola installazione radiologica con gli LDR deve pertanto essere eseguito con i dati di esposizione raccolti su un campione di pazienti.

Un valore di LDR è da considerarsi superato quando il valore mediano per un campione rappresentativo di pazienti di corporatura normale, oppure di pazienti all'interno di un intervallo eventualmente specificato di peso e/o dimensioni e/o età, è maggiore del corrispondente valore di LDR.

5.1.1. Procedure da includere nella verifica degli LDR

In merito agli esami radiologici da selezionare e includere nella verifica degli LDR, l'Allegato XXVI del DL.vo 101/2020 precisa che:

> "[…] detta verifica risulta appropriata per un determinato esame qualora nell'arco di un periodo di due mesi siano in media sottoposti all'esame medesimo circa 15 pazienti all'interno della struttura."

In questo contesto per "struttura" si intende "installazione radiologica" ovvero "apparecchiatura radiologica" e, quindi in ultima analisi, "tubo radiogeno" o "apparecchiatura di medicina nucleare".

Fermo restando il criterio di cui sopra, particolare attenzione dovrà essere dedicata alla verifica del rispetto degli LDR nel caso di esami effettuati su pazienti in età pediatrica o neonatale, da effettuarsi nelle strutture sanitarie o nelle unità operative elettivamente dedicate.

Per le pratiche radiologiche comportanti alte dosi per il paziente, qualora non si raggiunga la numerosità indicata nell'Allegato XXVI del DL.vo 101/20, si indica come appropriata, ai fini della verifica degli LDR, la selezione, per la singola apparecchiatura radiologica, della prestazione con il più alto numero di esami effettuati nel corso dell'anno di riferimento.

5.1.2. Dimensione del campione di procedure

Al fine di effettuare un confronto con i valori di LDR, la struttura deve raccogliere un numero significativo di casi per tipologia di paziente, adulto o pediatrico, per una data procedura e per ogni impianto radiologico o di medicina nucleare: il valore mediano dei dati raccolti per ciascuna procedura e per una specifica apparecchiatura viene confrontato con il pertinente valore di LDR.

L'ICRP raccomanda che per la RI vengano raccolti dati da almeno 30 pazienti per le procedure di fluoroscopia diagnostica e da un gruppo più ampio per le procedure RI, preferibilmente includendo tutti i pazienti, per compensare la maggiore variabilità dei valori di dose.

Per i pazienti pediatrici, il documento della European Commission RP 185 raccomanda che, per ciascuna struttura, sia disponibile un campione rappresentativo di almeno 10 pazienti per tipo di procedura e per gruppo di pazienti.

Nei casi in cui si utilizzi l'approccio basato sulla curva LDR, sono richiesti in totale 10 pazienti per indagini e procedure non complesse (radiologia proiettiva, TC e procedure semplici eseguite sotto guida fluoroscopica- per queste ultime vedasi Tabella 3.2) e 20 pazienti per procedure complesse eseguite sotto guida fluoroscopica (vedasi Tabella 3.2) a condizione che questi siano ragionevolmente distribuiti nell'intera gamma dei parametri di peso o dimensioni del gruppo che si sta analizzando.

Con la disponibilità di sistemi elettronici di registrazione delle dosi, potranno essere presi in considerazione tutti i casi disponibili nel periodo di tempo di interesse.

In assenza di un sistema di registrazione elettronico, dovranno essere raccolti i dati su un numero minimo consecutivo di casi per procedura e per impianto radiologico o di medicina nucleare come di seguito indicato in Tabella 5.1. Indipendentemente dalle modalità di raccolta dei dati, non sarà necessario eliminare i valori estremi (*outlier*) in quanto il valore mediano ne viene solo parzialmente influenzato.

Tabella 5.1. Numero minimo di casi per procedura e per impianto radiologico o di medicina nucleare per il paziente adulto e pediatrico (1)

Procedura	Numero minimo di casi per procedura
Procedure dell'adulto	
Tomografia computerizzata	30 pazienti (2)
Radiologia interventistica	30 pazienti
Medicina nucleare	20 pazienti
Procedure pediatriche	
Tutti i tipi di procedure	10 pazienti per gruppo di peso o età per indagini/procedure semplici 20 pazienti per gruppo di peso o età per procedure complesse (3)

5.1.3. Valori multipli di LDR

Quando la presente raccomandazione indica più valori di LDR per una medesima procedura si ritiene che:

1. *Per le procedure fluoroscopiche e interventistiche*
   il confronto deve essere fatto con il valore mediano del KAP; il valore delle altre grandezze è utile per identificare possibili cause di superamento del valore di LDR (es. un valore mediano elevato del tempo di fluoroscopia può indicare un mix di procedure particolarmente complesse o la presenza di un operatore in formazione ed entrambe le cause possono giustificare un maggiore livello mediano del KAP; un valore mediano elevato di $K_{a,r}$ in presenza di un valore mediano del KAP inferiore al relativo valore di LDR può derivare da dimensione dei fasci particolarmente ridotti, ma può anche indicare l'utilizzo di qualità d'immagine elevate e dovrebbe richiedere il monitoraggio della dose cutanea).
2. *Per le procedure di medicina nucleare*
   nel caso di un imaging ibrido, se i valori mediani di DLP sono superiori al relativo valore di LDR si potrà rivedere il protocollo di acquisizione TC in funzione dello scopo diagnostico delle immagini TC o di sola correzione per l'attenuazione e localizzazione anatomica.

5.1.4. Metodologia di confronto con LDR per tener conto della complessità della procedura

In Tabella 5.2 si riportano gli LDR per procedure di radiologia interventistica distinti per classi di complessità.

Tabella 5.2. LDR per classi di complessità di procedure di radiologia interventistica (4, 5, 6)

Procedura	Classe di complessità	Range *score*	KAP (Gycm^2)
CA+PTCA	semplice media complessa	≤41 41-43 > 43	46 70 95
TACE	semplice media complessa	≤49 49-53 > 53	133 200 290
EVAR	semplice media complessa	≤43 43-46 >46	67 94 172
Angiografia cerebrale	semplice media complessa	≤ 44 45-48 > 48	71 117 198
Embolizzazione aneurisma cerebrale	semplice media complessa	≤ 52 52-54 > 54	136 182 268
Trombectomia meccamica trattamento ictus	semplice media complessa	≤ 47 47-51 > 51	72 132 166

Lo *score* è definito dalla seguente formula

$$Score=\Sigma\ wi+cost$$

dove w_i sono i fattori di peso ricavati dai coefficienti dell'analisi multivariata eseguita sui dati derivati dall'indagine nazionale moltiplicati per 10 e cost è la costante dell'analisi multivariata (vedasi Tabella A2 in Appendice A). Lo *score* corrisponde al logaritmo del $KAP_{predetto}$ dal modello moltiplicato per 10.

Per verificare se la procedura è ottimizzata, ogni centro calcola il valore mediano di KAP e lo confronta con il valore nazionale.

Se l'esito delle verifiche risulta superiore ai LDR, si analizza la complessità della procedura:

- si calcola lo *score* per ogni paziente;
- si ricava il valore mediano dello *score* del campione:
- si confronta lo *score* mediano con gli intervalli di definizione delle classi; lo *score* mediano infatti fornisce l'indicazione sulla classe a cui dovrebbero appartenere le procedure del centro considerando la complessità.

Per determinare se il KAP misurato appartiene alla classe di complessità individuata dallo *score* si calcola il valore V:

$$V= 10 * \ln KAP$$

e lo si confronta con i range dello *score* riportati in Tabella 5.2.

Se il valore ricavato cade nella stessa classe dello *score* allora la procedura è ottimizzata; se appartiene ad una classe maggiore la procedura non è ottimizzata. Per un livello di ottimizzazione aggiuntiva si può confrontare il KAP misurato con il valore di LDR della classe di appartenenza.

5.1.4.1. Procedura TACE: esempio di calcolo

a. Confronto preliminare con il DRL nazionale

1. Per il campione della procedura considerata si calcola il valore mediano del KAP.

2. Il valore ottenuto viene confrontato con il DRL nazionale di riferimento.

3. Se il KAP mediano è significativamente superiore o inferiore al DRL, si procede a un'analisi più approfondita che tenga conto della complessità delle procedure.

b. Calcolo dello score di complessità

1. Per ciascun paziente del campione viene calcolato uno *score* di complessità. A scopo esplicativo considerando un paziente di 69 anni (w=0), maschio (w=5) sottoposto a intervento TACE super selettivo in un ramo (w=-1), con impiego di acquisizione rotazionale (w=3) e apparecchio senza tecnologia di riduzione della dose (w=0), lo *score* associato sarà:

$$Score=5-1+0+3+0+44=51$$

2. Si riporta per esempio in Tabella 5.3 un campione di 40 pazienti.

3. Si determina il valore mediano dello *score* per il campione analizzato. Nell'esempio:

$$Score_{mediano} = 52$$

c. Valutazione dell'ottimizzazione

Lo *score* consente di identificare la classe di riferimento alla quale le procedure del Centro dovrebbero appartenere, tenendo conto della loro complessità.

Nell'esempio considerato lo *score* rientra nella categoria a media complessità (*score* [49-53] Tabella 5.2).

Il KAP mediano del campione considerato è pari a 189 Gy.cm^2. Il valore V risulta pari a 52.4 e viene confrontato con i range degli *score* riportati in Tabella 5.2.

Il valore V ricade nella stessa classe dello *score* mediano; la procedura può pertanto essere considerata ottimizzata.

A fini di un ulteriore miglioramento, il KAP misurato (189 Gy cm^2) è confrontato con il valore di LDR specifico della classe di appartenenza (200 Gycm^2): la procedura è ottimizzata.

Tabella 5.3 Tabella esemplificativa per la procedura TACE

Esempio	Età	Sesso	Tipo	Acquisizione rotazionale	Tecnologia riduzione dose	Costante	*Score*
paziente 1	1	0	0	3	0	44	48
paziente 2	1	0	-1	3	0	44	47
paziente 3	1	0	-1	3	0	44	47
paziente 4	0	0	-1	3	0	44	46
paziente 5	0	5	-1	0	0	44	48
paziente 6	0	5	-1	0	0	44	48
paziente 7	1	5	-1	3	0	44	52
paziente 8	0	5	-1	3	0	44	51
paziente 9	1	5	-1	3	0	44	52
paziente 10	1	5	-1	3	0	44	52
paziente 11	1	5	-1	3	0	44	52
paziente 12	0	5	-1	3	0	44	51
paziente 13	1	5	-1	3	0	44	52
paziente 14	0	5	-1	3	0	44	51
paziente 15	0	5	-1	3	0	44	51
paziente 16	0	5	-1	3	0	44	51
paziente 17	1	5	-1	3	0	44	52
paziente 18	0	5	-1	3	0	44	51
paziente 19	1	5	-1	3	0	44	52
paziente 20	0	5	-1	3	0	44	51
paziente 21	0	5	-1	3	0	44	51
paziente 22	0	5	-1	3	0	44	51
paziente 23	0	5	-1	3	0	44	51
paziente 24	1	5	-1	3	0	44	52
paziente 25	1	5	-1	3	0	44	52
paziente 26	0	5	-1	3	0	44	51
paziente 27	0	0	5	3	0	44	52
paziente 28	0	5	5	0	0	44	54
paziente 29	0	5	5	3	0	44	57
paziente 30	0	5	5	3	0	44	57
paziente 31	1	5	5	3	0	44	58
paziente 32	0	5	5	3	0	44	57
paziente 33	0	5	5	3	0	44	57
paziente 34	1	5	5	3	0	44	58
paziente 35	0	5	5	3	0	44	57
paziente 36	0	5	5	3	0	44	57
paziente 37	1	5	5	3	0	44	58
paziente 38	2	0	-1	3	0	44	48
paziente 39	2	5	-1	3	0	44	53
paziente 40	2	5	-1	3	0	44	53

5.1.5. Frequenza delle valutazioni

L'Allegato XXVI al DL.vo 101/2020 (7) con riferimento alla frequenza di verifica del rispetto dei valori di LDR, al punto 3 riporta quanto segue:

> "La valutazione dovrà essere effettuata con frequenza almeno quadriennale, utilizzando, ove possibile, i dati e parametri di cui all'articolo 168, comma 1, e strumenti informativi che consentano un'elaborazione statistica adeguata, e in ogni caso entro un anno dall'eventuale sostituzione dell'apparecchiatura radiologica e/o del sistema di rilevazione di immagine o quando siano modificati i parametri tecnici relativi all' esecuzione dell'esame".

Si ricorda che, per le pratiche radiologiche ad alta dose quali la TC e la radiologia interventistica, l'ICRP raccomanda una frequenza di verifica del rispetto degli LDR più elevata, anche annuale (2). Analogamente il report 112 della IAEA (8) afferma:

> "i valori tipici ovvero i valori mediani della distribuzione dei dati di esposizione per una data coorte devono essere determinati periodicamente, almeno una volta all'anno, e confrontati con i LDR locali o nazionali pertinenti. Se tali LDR non sono disponibili, i valori tipici possono comunque essere utilizzati per il confronto con i dati pubblicati o tra diverse strutture"

L'art. 165 comma 7 "Pratiche speciali" del DL.vo 101/20 (7), per la radiologia interventistica, riporta testualmente:

> "per le esposizioni di cui al comma1, lettera c), punto1, il responsabile dell'impianto radiologico provvede affinché lo specialista in fisica medica effettui, attraverso l'impiego degli indicatori dosimetrici forniti dall'apparecchiatura radiologica, le valutazioni dosimetriche e un monitoraggio periodico, almeno annuale, delle dosi assorbite dal paziente".

Il presente documento propone, per la valutazione degli LDR, le seguenti periodicità:

- *annuale* per le pratiche di radiologia interventistica per pazienti adulti e pediatrici;
- *quadriennale* per le pratiche di medicina nucleare per pazienti adulti e pediatrici, comprese le indagini di tomografia computerizzata abbinate ad esami ibridi per correzione dell'attenuazione e localizzazione

La valutazione degli LDR in ogni caso dovrà essere effettuata entro un anno dall'eventuale sostituzione dell'apparecchiatura radiologica e/o del sistema di rilevazione o nel caso di modifiche dei parametri tecnici relativi all'esecuzione dell'esame.

5.2. Fattori da considerare in caso di superamento degli LDR

Nel caso di superamento di un valore di LDR la pratica radiologica di quella installazione deve essere esaminata identificando le cause del superamento e programmando le azioni correttive da intraprendere.

Una prima analisi riguarda l'insieme dei dati del campione di procedure utilizzato per il confronto con i valori di LDR; ad esempio, ci possono essere casi di pazienti che falsano il

confronto per i quali si è resa necessaria un'estensione della procedura radiologica al fine di ottenere l'informazione diagnostica richiesta.

In generale, i fattori che dovranno essere analizzati per individuare le cause di superamento sono:

- il protocollo della procedura, relativamente ai fattori tecnici;
- le prestazioni dell'apparecchiatura, compreso il dispositivo per la visualizzazione o produzione delle immagini;
- le competenze degli operatori medici o tecnici, compresa la loro esperienza e formazione;
- la complessità della casistica; in un ospedale ad elevata complessità si potrà avere una complessità media delle procedure, specialmente quelle di TC e di radiologia interventistica, più elevata rispetto ad un ambulatorio radiologico o a un ospedale di rete.

L'art. 5 Azioni correttive dell'Allegato XXVI del DL.vo 101/2020 (7), con riferimento alla verifica degli LDR e agli obblighi del responsabile dell'impianto radiologico e dell'esercente, riporta quanto segue:

> "Qualora l'esito delle verifiche risulti sistematicamente superiore ai LDR senza motivazione clinica, il responsabile dell'impianto radiologico è tenuto a promuovere le adeguate azioni correttive e a provvedere affinché ne venga verificata l'efficacia.
> L'esercente è tenuto, su segnalazione del responsabile dell'impianto radiologico, a provvedere alle azioni correttive che non possano essere effettuate dal responsabile stesso.
> Qualora l'esito delle verifiche risulti significativamente inferiore ai LDR, il responsabile dell'impianto radiologico valuta se la qualità dell'informazione diagnostica risulta comunque adeguata alle necessità cliniche e, se del caso, adotta gli opportuni interventi correttivi."

È importante sottolineare il fatto che un audit dosimetrico dovrebbe sempre essere eseguito parallelamente alla valutazione della qualità dell'immagine al fine di avere informazioni sufficienti per la diagnosi e per eseguire la procedura (9).

In caso di superamento sistematico degli LDR nelle procedure di medicina nucleare diagnostica, è necessario avviare un'analisi delle possibili cause, tenendo conto delle specificità proprie di tali pratiche.

L'analisi può essere condotta a partire dai seguenti elementi:

- congruità dell'attività somministrata in funzione della specifica indicazione clinica
- accuratezza dei sistemi di misura dell'attività somministrata: attivimetri utilizzati in modalità manuale o incorporati in sistemi di misura automatizzati
- parametri tecnici dei protocolli di acquisizione quali, ad esempio, durata dell'acquisizione, tecniche di ricostruzione iterative, filtraggio e post-processing
- stato di manutenzione dell'attrezzatura medico radiologica e risultati dei controlli di qualità periodici.
- presenza di condizioni cliniche particolari
- nei sistemi ibridi: presenza di protocolli dedicati a bassa dose quando la TC è utilizzata esclusivamente per correzione per attenuazione.

5.3. LDR locali e valori tipici

Gli LDR nazionali richiedono indagini ampie, particolarmente onerose sia per la raccolta che per l'analisi dei dati. Pertanto, essi non sono sempre rispondenti ai rapidi sviluppi della tecnologia. Quando è evidente che ulteriori ottimizzazioni sono possibili a livello locale, possono essere individuati e utilizzati valori di LDR locali o valori tipici, basati su indagini limitate.

Nella pratica clinica, le nuove apparecchiature radiologiche o le nuove tecniche di post-elaborazione vengono solitamente utilizzate (almeno inizialmente) in una sola sala radiologica e, oltre all'utilizzo di valori tipici come indicatori di dose al paziente, può essere utile calcolare il terzo quartile da considerare come "LDR locale" per le procedure cliniche eseguite con la nuova apparecchiatura. L'ICRP nel Report 135 (2) definisce "LDR locale" un valore di LDR individuato sulla base di un'indagine limitata a poche sale radiologiche (tra 10 e 20). Il "valore tipico" è invece individuato con un'indagine a livello di un solo ospedale o clinica ed ha lo scopo di incoraggiare un ulteriore passo nell'ottimizzazione; esso può essere utilizzato, ad esempio, per confrontare l'attività di diverse sale radiologiche o può essere riferito all'impiego di una nuova tecnologia di immagine (Tabella 5.3).

I LDR locali possono essere molto utili per altri ospedali che installano la stessa tecnologia di imaging o tecnologie simili (es. interventistici a bassa dose) da utilizzare per le stesse indicazioni cliniche o attività cliniche.

Tabella 5.3. Denominazione, modalità di individuazione e campo di utilizzo dei diversi livelli di riferimento (2)

Denominazione	Dimensione del campione	Valore nella distribuzione utilizzato per definire la quantità di interesse	Campo di applicazione
LDR regionale*	Un campione regionale rappresentativo di installazioni	Terzo quartile dei valori mediani raccolti nella regione (definita come insieme di Paesi)	Riferimento per Paesi della regione che non hanno identificato LDR nazionali, o i cui LDR nazionali siano superiori al valore regionale
LDR nazionale	Un campione nazionale rappresentativo di installazioni	Terzo quartile dei valori mediani di ogni installazione	Uso nazionale, per identificare installazioni che richiedono ottimizzazione
LDR locale	Un campione limitato di installazioni (es. 10-20 sale radiologiche) in un'area limitata	Terzo quartile dei valori mediani di ogni installazione	Uso locale, per identificare installazioni che richiedono ottimizzazione
Valore tipico	Installazione di una struttura sanitaria o numero limitato di installazioni che utilizzano una nuova tecnologia	Valore mediano della distribuzione (dati insufficienti per l'utilizzo del terzo quartile)	Uso locale, per identificare installazioni che richiedono ottimizzazione

*ad esempio: LDR europeo

Nella maggior parte dei casi, gli LDR locali dovrebbero essere simili (o inferiori) ai LDR nazionali o regionali (es. europei), se esistenti, per le indicazioni cliniche studiate. In casi eccezionali e con adeguata giustificazione, i LDR locali potrebbero essere superiori ai LDR nazionali qualora vengano segnalati benefici clinici per alcune indicazioni mediche.

Bibliografia

1. Health Information and Quality Authority. Diagnostic reference levels: guidance on the establishment, use and review of diagnostic reference levels for medical exposure to ionising radiation. Sample methodology and sample sizes for adults. Dublin: Health Information and Quality Authority; 2023
2. International Commission on Radiological Protection. Diagnostic reference levels in medical imaging. *ICRP Publication 135. Ann ICRP.* 2017;46(1).

3. European Commission. *European Guidelines on Diagnostic Reference Levels for Paediatric* Imaging. Radiation Protection No. 185. Luxembourg: Directorate-General for Energy; 2018.
4. Cavallari M, Grande S, Palma A, Klersy C, Padovani R, Orlacchio A, Compagnone G., Rosi A., D'Ercole L. Establishing updated diagnostic reference levels for interventional radiology: a national Italian survey incorporating procedure complexity indices. *Eur J Radiol.* 2026;195:112648. doi:10.1016/j.ejrad.2025.112648
5. Cavallari M, D'Ercole L, Grande S, Klersy C, Padovani R, Orlacchio A, Compagnone G, Rosi A, Palma A. Establishing updated diagnostic reference levels for interventional radiology: a national Italian survey incorporating procedure complexity indices. Part II: interventional neuroradiology. *Eur J Radiol.* 2026;196:112662. doi:10.1016/j.ejrad.2026.112662
6. D'Ercole L, Palma A, Cavallari M, Padovani R, Klersy C, Bernardi G, et al. National survey to update the Italian diagnostic reference levels in interventional cardiology. *Eur J Radiol*.2026;112976. doi:10.1016/j.ejrad.2026.112976.
7. Italia. Decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101. Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'art. 20, comma 1, lett. a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117. *Gazz Uff.* 2020 Aug 12;201(Suppl Ord n. 29/L).
8. International Atomic Energy Agency. *Patient radiation exposure monitoring in medical* imaging. IAEA Safety Reports Series No. 112. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2023.
9. International Atomic Energy Agency. *Establishing and improving interventional radiology*. IAEA Human Health Series No. 42. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2023

CONCLUSIONI

La presente raccomandazione ha inteso raccogliere e valorizzare le diverse indagini dosimetriche condotte in Italia per ricavare un insieme di valori di LDR nazionali utili per il perseguimento di un'azione di armonizzazione e ottimizzazione della pratica nazionale di radiologia diagnostica e interventistica e di medicina nucleare a maggior tutela del paziente esposto a scopo diagnostico alle radiazioni ionizzanti o per il quale si utilizzano immagini radiologiche come guida di procedure interventistiche.

I valori di LDR dovranno infatti essere utilizzati dalle strutture che impiegano radiazioni ionizzanti con il supporto dello specialista in fisica medica nel modo dettato dalla normativa vigente in materia. L'impiego di tecnologie di immagine avanzate potrà richiedere l'adozione di valori di LDR locali o valori tipici che, in ogni caso, non dovranno essere superiori ai valori degli LDR nazionali.

Al fine di rendere le valutazioni di dose effettuate in centri diversi facilmente aggregabili a scopi statistici, si raccomanda di affiancare al tipo di procedura i codici indicati nel nomenclatore nazionale della specialistica ambulatoriale e i loro aggiornamenti e, per le procedure interventistiche, le classificazioni internazionali delle malattie (*International Classification of Diseases 9th revision Clinical Modification*, ICD-9-CM) (1) e le assimilazioni indicate dalle autorità sanitarie e dalle Società Scientifiche del settore.

Si ritiene infine che questo approccio alla definizione dei valori di LDR nazionali, con documenti dell'ISS sviluppati in collaborazione con le associazioni scientifiche, renda possibile quanto richiesto dall'art. 158 del DL.vo 101/2020 (2) e semplifichi l'aggiornamento periodico degli stessi rendendo la pratica di ottimizzazione delle esposizioni mediche sempre aderente allo sviluppo della pratica e delle tecnologie di immagine impiegate.

Bibliografia

1. Dipartimento della Qualità - Direzione Generale della programmazione sanitaria, dei livelli essenziali di assistenza e dei principi etici di sistema. *Classificazione delle malattie, dei traumatismi, degli interventi chirurgici e delle procedure diagnostiche e terapeutiche. Versione italiana della ICD-9-CM.'International Classification of Diseases 9th revision Clinical Modification' 2007*. Roma: Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali; 2008. Disponibile all'indirizzo: http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_2251_allegato.pdf; ultima consultazione 20/11/2020
2. Italia. Decreto Legislativo 31 luglio 2020, n. 101. Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117. *Gazzetta Ufficiale* n. 201 - Supplemento Ordinario n. 29/L, 12 agosto 2020

APPENDICE A
Fattori di complessità per procedure interventistiche

Tabella A1. Fattori di complessità individuati e relative opzioni per alcune procedure di radiologia interventistica (1-4)

Procedure	Fattori di complessità	Opzioni da selezionare
CA+PTCA	Numero di vasi maggiori trattati	(campo aperto)
	Interventi percutanei coronarici coinvolgenti il Tronco Comune	sì
		no
	Numero di lesioni trattate > B2 secondo la classificazione AHA/ACC	(campo aperto)
	Numero di "vere" biforcazioni con vaso secondario ≥ 2,25 mm, secondo la classificazione in (3,4)	1,1,1
		1,0,1;
		0,1,1
	Numero di lesioni ostiali (lesione che inizia entro 3-5 mm dall'origine di un'arteria epicardica maggiore)	(campo aperto)
	Numero di occlusioni > 3 mesi (la lesione deve essere databile)	(campo aperto)
	Numero di calcificazioni severe (densità radiopache visibili senza movimento cardiaco prima dell'iniezione di contrasto e in genere coinvolgenti entrambi i lati della parete arteriosa)	Graduazione della calcificazione:
		1) nessuna/lieve
		2) moderata: densità radiopache visibili solo durante il movimento cardiaco e tipicamente coinvolgenti solo un lato della parete arteriosa
		3) severa: densità radiopache visibili senza movimento cardiaco prima dell'iniezione di contrasto e in genere coinvolgenti entrambi i lati della parete arteriosa
	Numero di tortuosità severe (due o più curve ≥ 90 gradi)	(campo aperto)
TACE	Cateterizzazione arteria epatica	semplice
		complessa
	Tipo	lobare unilaterale
		superselettiva in un ramo
		superselettiva in due o più rami
EVAR	Dimensione colletto	>15 mm
		(10-15) mm
		<10 mm
	Angolazione colletto	<45°
		45°-60°
		>60°
	Localizzazione	aneurisma del tratto sottorenale dell'aorta addominale o esteso alle arterie iliache comuni
		aneurisma esteso alle arterie iliache interne
	Asse iliaco	Pervio
		occluso
TIPS	Anatomia vena portale	regolare
		presenza di trombosi portale
		cavernomatosi portale
Vertebro-plastica	Numero di vertebre trattate	1
		2
		3 o più
	Localizzazione vertebra	lombare
		dorsale
	Muro posteriore	integrità del muro posteriore
		frattura del muro posteriore

Procedure	Fattori di complessità	Opzioni da selezionare
Salvataggio d'arto	stenosi/ostruzione arteria femoro poplitea	stenosi arteria femorale poplitea
		ostruzione femoro poplitea <15 cm
		ostruzione femoro poplitea >15 cm
	stenosi/ostruzione arterie sottogenicolate	stenosi arterie sottogenicolate
		ostruzioni segmentali arterie sottogenicolate
		ostruzioni lunghe (<10 cm) arterie sottogenicolate
	pervietà/stenosi/ostruzione arterie di piede	pervietà arterie del piede
		stenosi arterie di piede
		ostruzioni arterie di piede
Drenaggio biliare	Endoprotesi	con endoprotesi
		senza endoprotesi
	dilatazione vie biliari segmentarie	non dilatate
		mediamente dilatate (<3 mm)
		molto dilatate (>3 mm)
	Localizzazione	intraepatica
		ilare (confluenza dotti epatici))
		via biliare principale- distale
Angiografia cerebrale	Numero di arterie cerebrali	1
		2
		3 o più
	Priorità diagnostica	elezione
		urgenza per sanguinamento
	Tipo di studio	primo studio
		follow-up
Trombectomia meccanica trattamento ictus	Tipo di occlusione	su base embolica
	Localizzazione occlusione	su placca
		su dissezione
		occlusione prossimale arteria cerebrale media
		occlusione circolo posteriore
		occlusione tratto m2 arteria cerebrale media
		occlusioni tandem
	Stent	sì
		no
Embolizzazione aneurisma	Condizioni aneurisma	non rotto
		rotto
	Colletto aneurisma	presente (*dome to neck ratio* >2)
		scarso (*dome to neck ratio* <2)
	Dimensioni aneurisma	<10 mm
		(10 - 25) mm
		>25 mm
	Localizzazione	Arteria carotide interna
		Arteria cerebrale anteriore
		Arteria basilare
		Arteria cerebrale media
		Arteria vertebrale
	Morfologia	Fusiforme
		Sacciforme
		Allungato
		Dismorfico

Bibliografia di riferimento

1. D'Ercole L, A Rosi, G Bernardi, G Compagnone, A Orlacchio, R Padovani, A Palma, S Grande. National survey to update the diagnostic reference levels in interventional radiology procedures in Italy: working methodology. *J Radiol Prot*. 2024;44:011505. https://doi.org/10.1088/1361-6498/ad1fe1
2. Zaacks SM, Allen JE, Calvin JE, Schaer GL, Palvas BW, Parrillo JE, Klein LW. Value of the American College of Cardiology/American Heart Association stenosis morphology classification for coronary interventions in the late 1990s. *Am J Cardiol.* 1998;82(1):43-49
3. Medina A, Suárez de Lezo J, Pan M. A new classification of coronary bifurcation lesions. *Rev Esp Cardiol.* 2006;59(2):183.
4. Pan M, Ojeda S. Medina classification since its description in 2005. *Rev Esp Cardiol*. 2023;76(2):146-149.
5. D'Ercole L, Palma A, Cavallari M, Padovani R, Klersy C, Bernardi G, et al. National survey to update the Italian diagnostic reference levels in interventional cardiology. *Eur J Radiol*. 2026;112976. doi:10.1016/j.ejrad.2026.112976

Tabella A2. Coefficienti e fattori di peso associati alle variabili cliniche e tecniche utilizzate per il calcolo del punteggio di complessità di alcune procedure interventistiche

Procedura	Variabili	Fattore di peso (w)	*p-value*
CA+PTCA			
Sesso	F	0	<0,001
	M	4	
Età (anni)	<70	0	0,54
	70-79	0	
	80-89	0	
	>=90	-2	
Tecnologia con riduzione dose	No	0	0,25
	Sì	-2	
Numero di vasi	0-1	0	0,0005
	2-4	4	
LMPC	No	0	0,60
	Sì	0	
Numero di lesioni >B2	0	0	0,68
	1	0	
Numero di biforcazioni con stent	0	0	0,008
	1-3	3	
Numero di lesioni ostiali	0	0	0,11
	1-3	1	
Numero di occlusioni >3mesi	0	0	0,0005
	1-2	4	
Numero di calcificazioni severe	0	0	0,15
	1	2	
	2-4	2	
Numero di tortuosità severe	0	0	0,98
	1-2	0	
Costante		37	
TACE			
Sesso	F	0	0,008
	M	5	
Età (anni)	<70	0	0,35
	70-79	1	
	>=80	2	
Acquisizione rotazionale	no	0	0,19
	sì	3	
Tipo	lobare unilaterale	0	0,02
	superselettiva in un ramo	-1	
	superselettiva in due o più rami	5	
Sistemi di riduzione della dose	no	0	0,66
	sì	-1	
Costante		44	

Procedura	Variabili	Fattore di peso (w)	*p-value*
EVAR			
Sesso	F	0	0,004
	M	3	
Età (anni)	<70	0	0,902
	70-79	0	
	80-89	0	
	>=90	1	
Acquisizione rotazionale	no	0	0,2787
	sì	3	
Sistema radiologico	fisso	0	0,801
	mobile	1	
Dimensione colletto	<10 mm	0	0,038
	tra 10 e 25 mm	-5	
	>25 mm	-5	
Asse iliaco	occluso	0	0,168
	Pervio	-4	
Localizzazione	aneurisma esteso alle arterie iliache interne	0	<0,001
	aneurisma del tratto sottorenale dell'aorta addominale o esteso alle arterie iliache comuni	-6	
Sistemi di riduzione della dose	No	0	0,328
	Sì	-4	
Angolazione colletto	<45	0	0,021
	45-60	-2	
	>60	-2	
Costante		57	
Angiografia cerebrale			
Sesso	F	0	0,002
	M	3	
Età (anni)	<70	0	0,015
	70-79	2	
	80-89	-1	
	>=90	-1	
Acquisizione 3D	no	0	0,956
	sì	0	
Sistema radiologico	biplano	0	0,121
	monoplano	-4	
Tipo di studio	primo studio	1	0,216
	follow up	0	
N. arterie cerebrali	1	0	0,008
	2	2	
	3 o più	7	
Priorità diagnostica	elezione	0	0,994
	urgenza per sanguinamento	0	
Tecnologia con riduzione dose	no	0	0,024
	sì	-5	
Costante		42	

Procedura	Variabili	Fattore di peso (w)	*p-value*
Embolizzazione aneurisma cerebrale			
Sesso	F	0	0,027
	M	1	
Età (anni)	<70	0	0,004
	70-79	2	
	80-89	2	
	>=90	-3	
Acquisizione 3D	no	0	0,721
	sì	0	
Sistema radiologico	biplano	0	0,001
	monoplano	-5	
Dimensione aneurisma	<10 mm	0	0,030
	10- 25 mm	1	
	> 25 mm	4	
Condizioni aneurisma	non rotto	0	0,127
	rotto	1	
Colletto aneurisma *Dome-to-neck ratio*	scarso (*dome to neck ratio* < 2)	0	0,016
	presente (*dome to neck ratio* >2)	-2	
Localizzazione	arteria basilare	0	0,034
	arteria carotidea interna	-2	
	arteria cerebrale anteriore	-1	
	arteria cerebrale media	-2	
	arteria vertebrale	-3	
Morfologia	*streched/* allungato	0	0,452
	dismorfico	2	
	saccular/ sacciforme	2	
	fusiforme	2	
Tecnologia con riduzione dose	no	0	0,017
	sì	-4	
Costante		56	
Trombectomia meccanica per trattamento ictus			
Sesso	F	0	0,003
	M	2	
Età (anni)	<70	0	0,578
	70-79	1	
	80-89	0	
	>=90	0	
Acquisizione 3D	no	0	0,080
	sì	3	
Sistema radiologico	biplano	0	0,006
	monoplano	-5	
Tipo di occlusione	su dissezione	0	0,066
	su base embolica	-6	
	su placca	-4	
Localizzazione occlusione	occlusione tratto M2 arteria cerebrale media	0	0,590
	occlusione circolo posteriore	1	
	occlusione prossimale arteria cerebrale media	0	
	occlusioni tandem	1	
Stent retriever	no	0	<0,001
	sì	4	
Tecnologia con riduzione dose	no	0	<0,001
	sì	-6	
Costante		56	

Serie Rapporti ISTISAN
numero di agosto 2026

Stampato in proprio
Servizio Comunicazione Scientifica – Istituto Superiore di Sanità

Roma, novembre 2026