



# Radiologia

11° EDIZIONE



# Radiologia

11° EDIZIONE

Concorso Nazionale  
SSM 2025



## ISBN

9788833413129

## DEPOSITO LEGALE

Come per Legge

## ACCADEMIA ITALIANA MEDICI SPECIALIZZANDI S.R.L.

Via Ettore Carafa, 57  
70124 - Bari (Ba) - Italia  
P.IVA: 07625410720  
[www.accademiamedici.it](http://www.accademiamedici.it)

## GRAFICA, IMPAGINAZIONE ED ILLUSTRAZIONI

Iceberg Visual Diseño, S.L.N.E., Marika Perazzetti

## STAMPA

Finito di stampare a Ottobre 2024 da Ragusa Grafica Moderna

È vietata qualsiasi riproduzione, anche parziale, di quest'opera. Qualsiasi copia o riproduzione effettuata con qualsiasi procedimento (fotografia, microfilm, nastro magnetico, disco o altro) costituisce una contraffazione passibile delle pene previste dalla legge sulla tutela dei diritti d'autore. La protezione dei diritti d'autore si estende sia ai contenuti redazionali della pubblicazio-

ne sia alla grafica, alle illustrazioni e alle fotografie della stessa: ne è, pertanto, vietata la riproduzione totale o parziale senza il consenso del titolare dei diritti d'autore. La traduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm, i film, le fotocopie, etc.), nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

Questo manuale è stato stampato con carta ecologica, sostenibile e senza cloro, ed è stato certificato secondo gli standard di FSC (Forest Stewardship Council).



RA

# RADIOLOGIA



# RA RADIOLOGIA

## AUTORI

### Direzione editoriale

MANCINI ANTONIO (93)  
MAGGIORE MARIA ELENA (93)  
MELE ALFONSO (94)

### Autori

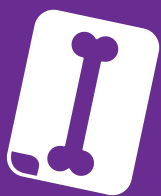
MECCIA DONATO VITO (91)  
ANDRESCIANI FLAVIO (85)  
BERTOLOTTI LORENZO (90)  
FAGGIAN GUIDO (86)

## Relazione generale degli autori

- Abbenante Diego (84)  
Airolo Carlo (52)  
Andresciani Flavio (85)  
Angellotti Giustina (8)  
Arcidiacono Maria Grazia (8)  
Baratto Luigi (88)  
Barchi Alberto (22)  
Barillà Giovanni (64)  
Bellinelli Matteo (81)  
Bertolotti Lorenzo (90)  
Binello Nicolò (44)  
Bonizzoni Matteo Aldo (27)  
Brescia Benedetta (37)  
Calleri Gaetano Silvio (10)  
Capelli Cecilia (87)  
Casella Raffaella (36)  
Causio Francesco Andrea (62)  
Celsa Ciro (61)  
Ceraso Alessia (4)  
Cerchione Claudio (50)  
Ciancio Antonio (74)  
Cicco Gerolamo (60)  
Coco Celeste (59)  
Coco Salvatore (53)  
Coltorti Andrea (19)  
Condello Francesco (46)  
Conte Ennio (78)  
Crapisi Angelo (14)  
De Francesco Luca (33)  
Del Bono Chiara (56)  
Diana Alfredo (82)  
Egiddi Silvia (40)  
Elhadidy Heba Safwat  
Mhmoued Abdo (35)  
Facco Matteo (7)  
Faggian Guido (86)  
Favretti Martina (70)  
Ferrante Bannera Anna (75)  
Filippello Giulia (58)  
Filippi Nicola (67)  
Filomia Simone (33)  
Fioccola Antonio (28)  
Fischetti Giuseppe (30)  
Forlani Davide (1)  
Germano Francesco (39)  
Giampà Valentina (32)  
Giorgino Riccardo (47)  
Giotta Massimo (29)  
Girardi Antonia (54)  
Giurazza Roberto (2)  
Grosso Antonio (71)  
Iannicari Federico (18)  
Intonti Chiara (21)  
Lavorgna Mariarosaria (68)  
Leonardi Giuseppe (66)  
Macellaro Monica (23)  
Maggiore Maria Elena (92)  
Magneterra Elisabetta (34)  
Malvaso Antonio (20)  
Mancini Antonio (92)  
Mancini Giuseppina (55)  
Manti Rebecca (9)  
Marchini Caterina (79)  
Mariani Alessandro (57)  
Marino Annalisa (69)  
Martinelli Canio (3)  
Meccia Donato Vito (91)  
Mele Alfonso (93)  
Messina Domenico (18)  
Nasillo Vincenzo (13)  
Nocilla Federica (38)  
Novielli Fabio (42)  
Orlandi Riccardo (77)  
Pallotta Giuseppe (16)  
Palmieri Valeria (8)  
Pecoraro Alessio (71)  
Pelaia Corrado (75)  
Peracino Rita (31)  
Petrone Paolo (5)  
Pigoni Alessandro (24)  
Pilla Laura (76)  
Pinelli Matteo (80)  
Rindone Andrea (73)  
Risi Luca (45)  
Romano Claudia (65)  
Romozzi Marina (89)  
Rotundo Fioramante Lello (75)  
Santalucia Roberto (49)  
Sarli Walter Maria (15)  
Scalia Giovanni (75)  
Scalia Lorenzo (17)  
Scalvini Davide (83)  
Sciancalepore Pasqua Irene (63)  
Scrima Ottavio (43)  
Stefanini Simone (11)  
Stella Leonardo (52)  
Tramontana Filippo (72)  
Trapea Francesco Giuseppe (75)  
Trovato Federica (26)  
Vagelli Filippo (9)  
Venuti Francesco (25)  
Vergara Andrea (6)  
Vitale Carolina (51)  
Vitale Federica (48)  
Vitucci Carmen Barbara (12)  
Vodola Emanuele (41)
- (1) Alma Mater Studiorum Università di Bologna, CSM Borgo-Reno, Bologna. IT  
(2) AO dei Colli - Ospedale Mondalì-Cotugno, Napoli - AOU "Luigi Vanvitelli", Napoli, Napoli. IT  
(3) AOU Gaetano Martino, Messina. IT - Sbarro Health Research Organization Temple University, Philadelphia, PA. USA  
(4) ARNAS Ospedali Civico Di Cristina Benfratelli, Palermo. IT  
(5) ASL BA, Bari. IT  
(6) ASL Napoli 3 Sud, P.O. Sant'Anna e SS Madonna della Neve, Boscorecase. IT  
(7) Azienda Ospedale Università di Padova, Padova. IT  
(8) Azienda Ospedaliera Universitaria Consorziale Policlinico di Bari, Bari. IT  
(9) Azienda Ospedaliera Universitaria Pisana, Pisa. IT  
(10) Azienda Ospedaliera Universitaria Policlinico "G. Martino", Messina. IT  
(11) Azienda Ospedaliera Universitaria Careggi, Firenze. IT  
(12) Azienda Ospedaliera Universitaria Consorziale Policlinico, Bari. IT  
(13) Azienda Unità Sanitaria Locale di Modena, Modena. IT  
(14) Azienda USL di Parma, Parma. IT  
(15) Azienda USL Toscana Centro, Firenze. IT  
(16) Campus Biomedico di Roma, Roma. IT  
(17) Cardiologia Universitaria con UTIC, Ospedale Umberto I, Enna. IT  
(18) Città della salute e della scienza di Torino, presidio CTO, Torino. IT  
(19) Department of Biomedical and Dental Sciences and Morphofunctional Imaging, University of Messina, Messina. IT  
(20) Department of Brain and Behavioral Sciences, IRCCS Fondazione "C. Mondino" - Istituto Neurologico Nazionale, Pavia. IT  
(21) Department of Clinical, Internal Medicine, Anesthesiology and Cardiovascular Sciences, Sapienza Università di Roma, Roma. IT  
(22) Department of Gastroenterology and Gastrointestinal Endoscopy, IRCCS San Raffaele Hospital, Milano. IT  
(23) Department of Mental Health, Department of Biomedical and Clinical Sciences Luigi Sacco, Università di Milano, Milano. IT  
(24) Department of Neurosciences and Mental Health, Fondazione IRCCS Ca' Granda, Ospedale Maggiore Policlinico, Milano. IT  
(25) Department of Public Health and Policy, London  
(26) Dermatology Clinic, Istituto Dermatologico dell'Immacolata (IDI)-IRCCS, Roma - Dermatology Unit, Department of Clinical Internal, Anesthesiology and Cardiovascular Science, Università La Sapienza, Roma. IT  
(27) Dipartimento di Anestesia e Terapia Intensiva, IRCCS San Raffaele Scientific Institute, Milano. IT  
(28) Dipartimento di Anestesia e Terapia Intensiva, Ospedale Universitario San Paolo, Milano. IT  
(29) Dipartimento di Medicina di precisione e rigenerativa, Università degli studi di Bari Aldo Moro, Bari. IT  
(30) Dipartimento di Medicina di Precisione ed Area Jonica, Policlinico Universitario, Bari. IT  
(31) Dipartimento di Medicina Interna e Specialistica, IRCCS Ospedale San Raffaele, Milano. IT  
(32) Dipartimento di Scienze Biomediche, Metaboliche e Neuroscienze, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Modena. IT  
(33) Dipartimento di Scienze Cardiovascolari e Pneumologiche, Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma. IT  
(34) Dipartimento di Scienze della Salute, Sezione di Dermatologia, Università di Firenze, Firenze. IT  
(35) Dipartimento di Scienze della Sanità Pubblica e Pediatriche, Università di Torino, Torino. IT  
(36) Dipartimento per la valutazione Chimico-Tossicologica e Farmacologica dei farmaci, Università Cattolica Nostra Signora del Buon Consiglio, Tirana. AL  
(37) Division of Cardiology, Department of Advanced Biomedical Sciences, Università Federico II di Napoli, Napoli. IT  
(38) Divisione di Endocrinologia, diabetologia e malattie del metabolismo Azienda Ospedaliera Universitaria Integrata di Verona, Verona. IT  
(39) E. O. Ospedali Galliera, Genova. IT  
(40) Endocrinologia e Diabetologia Università Campus Bio-Medico di Roma, Roma. IT  
(41) Endocrinologia e Malattie del Metabolismo Fondazione Policlinico universitario Agostino Gemelli IRCCS, Roma. IT  
(42) Endocrinologia, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Bari. IT  
(43) Fondazione Policlinico Universitario "A. Gemelli" IRCCS - UCSC, Roma. IT  
(44) High Impact Epidemics Unit, Health Emergencies Programme, World Health Organization, Geneva, CH. \*Institutional affiliation is provided for identification purpose only and does not constitute institutional endorsement. Any views and opinions expressed are personal and belong solely to the individual and do not represent any people, institutions or organizations that the individual may be associated with in a personal or professional capacity unless explicitly stated.  
(45) Humanitas Clinical and Research Center IRCCS Rozzano. IT  
(46) IRCCS Multimedia, Sesto San Giovanni. IT  
(47) IRCCS Ospedale Galeazzi, Sant' Ambrogio, Milano. IT  
(48) IRCCS Policlinico Universitario A. Gemelli, Roma. IT  
(49) Istituto Europeo di Oncologia, Milano. IT  
(50) Istituto Romagnolo per lo Studio dei Tumori "Dino Amadori" - IRST IRCCS, Meldola. IT  
(51) Medicina Interna Dipartimento di Scienze Mediche Policlinico Tor Vergata Roma, Roma. IT  
(52) Medicina Interna e Gastroenterologia, Fondazione Policlinico Universitario Agostino Gemelli IRCCS Roma, Roma. IT  
(53) Medico Specialista in Otorinolaringoiatria  
(54) Ospedale Regionale "F. Miulli", Acquaviva delle Fonti. IT  
(55) Università di Catania, Catania. IT  
(56) Pediatrica ASL Barletta-Andria-Trani. IT  
(57) Policlinico "S. Orsola", Bologna. IT  
(58) Policlinico Umberto I di Roma, Roma. IT  
(59) Royal Victoria Infirmary, Newcastle upon Tyne. UK  
(60) Scuola di Medicina - AOUC Policlinico di Bari, Bari. IT  
(61) Scuola di Specializzazione in Ematologia e Trapianto, Dip. Medicina di Precisione e Rigenerativa, Università degli Studi Aldo Moro, Bari. IT  
(62) Section of Gastroenterology and Hepatology PROMISE, Università di Palermo, Palermo. IT - Department of Surgery and Cancer, Faculty of Medicine, Imperial College London, Hammersmith Hospital, London. UK  
(63) Sezione di Igiene generale e applicata, Dipartimento Universitario Scienze della Vita e Sanità Pubblica, Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma. IT  
(64) U.O. Fisiatria e Riabilitazione dei disturbi della Comunicazione, ASL Lecce, Lecce. IT  
(65) U.O. Psichiatria Mantova 1 - SPDC "Ospedale Carlo Poma", Mantova. IT  
(66) U.O.C. di Pneumologia e Unità di Semintensiva Respiratoria presidio ospedaliero di Ostuni, Ostuni. IT  
(67) U.O.C. Nefrologia e Dialisi ASL Brindisi, Brindisi. IT  
(68) U.O.D. Chirurgia del Ginocchio, Artroscopia e Traumatologia Sportiva ASL Viterbo, Viterbo. IT  
(69) Unità di Endocrinologia, diabetologia e andrologia, dipartimento di medicina clinica e chirurgia, Università Federico II di Napoli, Napoli. IT  
(70) Unità di Immunoreumatologia, Fondazione Policlinico Universitario Campus Bio-Medico, Roma. IT  
(71) Unità di Reumatologia, Dipartimento di Scienze Cliniche Internistiche, Anestesiologiche e Cardiovascolari, Sapienza Università di Roma, Roma. IT  
(72) Unità di Urologia Oncologica, mini-invasiva robotica ed andrologia Azienda Ospedaliera Universitaria Careggi, Firenze. IT  
(73) Unità Operativa di Anestesia e Terapia Intensiva, Ospedale Buccheri La Ferla, Palermo. IT  
(74) Unità Operativa di Reumatologia, Humanitas Research Hospital, Rozzano, Milano. IT  
(75) Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli", Dipartimento di Medicina di Precisione, Unità di Reumatologia, Napoli. IT  
(76) Università degli Studi di Catanzaro "Magna Graecia", Catanzaro. IT  
(77) Università degli Studi di Firenze, Firenze. IT  
(78) Università degli Studi di Milano, Milano. IT  
(79) Università degli Studi di Napoli "Federico II", Napoli. IT - Centro di Medicina della Riproduzione Clinica Mediterranea, Napoli. IT  
(80) Università degli Studi di Parma, Parma. IT  
(81) Università degli Studi di Siena, Siena. IT  
(82) Università degli Studi di Verona, Ospedale della Donna e del Bambino, AOU Verona UOC Ginecologia e Ostetricia, Verona. IT  
(83) Università Federico II di Napoli, Napoli. IT  
(84) University of Pavia, PhD in Experimental Medicine - Gastroenterologia & Endoscopia Digestiva, Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo, Pavia. IT  
(85) UOC Dermatologia Ravenna - Lugo - Faenza, AUSL della Romagna, Ravenna. IT  
(86) UOC Diagnostica per Immagini e Radiologia Interventistica, Ospedale S.M. Goretti, Latina. IT  
(87) UOC Diagnostica per Immagini e Radioterapia, AOU "Federico II", Napoli. IT  
(88) UOC Gastroenterologia ed Endoscopia Digestiva - IRCCS Policlinico Sant'Orsola - Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Bologna. IT  
(89) UOC Neurologia e Stroke Unit Università degli Studi di Napoli "Federico II", Napoli. IT  
(90) UOC Neurologia, Fondazione Policlinico Universitario A. Gemelli IRCCS, Roma - Dipartimento Universitario di Neuroscienze, Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma. IT  
(91) UOC Radiologia Diagnostica e Interventistica Extravascolare, AOU Parma, Parma. IT  
(92) UOC Radiologia Vascolare ed Interventistica, AOU "San Giovanni di Dio e Ruggi d'Aragona", Salerno. IT  
(93) Department of Interdisciplinary Medicine (D.I.M.), Università di Bari Aldo Moro, Bari. IT  
(94) Specialista Ambulatoriale ASM Matera, Matera. IT

IT=Italia / CH=Svizzera / AL=Albania / PA=Philadelphia, USA / UK=Regno Unito

<b>CAPITOLO 1</b>	<b>INTRODUZIONE ALLE TECNICHE RADIOLOGICHE .....</b>	<b>9</b>
1.1.	Radiologia tradizionale .....	9
1.2.	Ecografia.....	11
1.3.	Tomografia computerizzata .....	13
1.4.	PET/TC.....	14
1.5.	Risonanza magnetica nucleare .....	15
<b>CAPITOLO 2</b>	<b>RADIOLOGIA TORACICA.....</b>	<b>17</b>
2.1.	Radiografia del torace .....	17
2.2.	Metodologia dell'interpretazione.....	19
2.3.	Pattern di malattia polmonare .....	21
2.4.	Segni in radiologia toracica.....	22
2.5.	Tomografia computerizzata .....	23
2.6.	Risonanza magnetica.....	26
2.7.	Manifestazioni delle patologie.....	26
<b>CAPITOLO 3</b>	<b>RADIOLOGIA ADDOMINALE .....</b>	<b>38</b>
3.1.	Radiografia diretta dell'addome.....	38
3.2.	Ecografia dell'addome .....	53
3.3.	TC dell'addome .....	53
<b>CAPITOLO 4</b>	<b>NEURORADIOLOGIA .....</b>	<b>79</b>
4.1.	Patologia cerebrovascolare .....	79
4.2.	Neoplasie .....	83
4.3.	Sclerosi multipla .....	88
4.4.	Disturbi degenerativi .....	89
4.5.	Idrocefalo .....	90
4.6.	Patologia infettiva.....	91
4.7.	Patologia rachimidollare.....	92
<b>CAPITOLO 5</b>	<b>RADIOLOGIA MUSCOLOSCHLETRICA .....</b>	<b>95</b>
5.1.	Introduzione .....	95
5.2.	Traumatologia .....	95
5.3.	Valutazione radiologica per ogni distretto in traumatologia.....	95
5.4.	Ortopedia infantile .....	105
5.5.	Ortopedia dell'adulto.....	106
5.6.	Patologia dei tessuti molli .....	107
5.7.	Patologia del rachide.....	108
5.8.	Ortopedia pediatrica .....	108
5.9.	Patologia tumorale .....	109
<b>CAPITOLO 6</b>	<b>RADIOLOGIA SENOLOGICA E GINECOLOGICA.....</b>	<b>112</b>
6.1.	Radiologia della mammella.....	112
6.2.	Diagnostica per immagini in ginecologia .....	116
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>		<b>120</b>
<b>CASI CLINICI.....</b>		<b>122</b>
<b>INDICE DEGLI ACRONIMI .....</b>		<b>182</b>



## Curiosità

La scoperta dei raggi X fu un caso di serendipità. Nel 1895 il fisico tedesco Wilhem Conrad Röntgen mentre stava conducendo degli esperimenti su un prototipo di tubo catodico in una stanza completamente buia, notò che una lastra coperta di una sostanza fluorescente e situata a qualche metro da lui, aveva iniziato a brillare. In quel momento intuì che questo fenomeno fosse provocato da una particolare radiazione fino ad allora sconosciuta, alla quale diede il nome di "raggi X", dalla lettera utilizzata in matematica per indicare una incognita. Fu immediatamente chiara la potenzialità della scoperta, ma ci volle tempo per comprenderne gli effetti dannosi dovuti all'esposizione incontrollata alle radiazioni.

## CAPITOLO 1 INTRODUZIONE ALLE TECNICHE RADIOLOGICHE

Le metodiche utilizzate in diagnostica per immagini sono essenzialmente quattro:

- **RX**  
Rientra nella cosiddetta radiologia tradizionale e utilizza raggi X.
- **TC**  
Tomografia computerizzata, utilizza anch'essa raggi X.
- **Ecografia**  
Basata sull'impiego di onde ultrasonore (energia meccanica).
- **RMN**  
Risonanza magnetica, che sfrutta le modificazioni indotte da impulsi di radiofrequenza sui nuclei d'idrogeno sottoposti ad un campo magnetico statico.

Vediamo nel dettaglio queste metodiche.

### 1.1. Radiologia tradizionale

Si tratta di un insieme di tecniche diagnostiche radiologiche che permette di ottenere immagini di tessuti e organi interni impressionando rilevatori sensibili ai **raggi X**.

I raggi X sono **radiazioni elettromagnetiche**, costituite da fotoni (quanti di energia privi di massa), che sono generate da un tubo radiogeno contenente un catodo – polo negativo con una spirale di tungsteno portata all'incandescenza con corrente elettrica (effetto termoelettrico) – e un anodo (polo positivo costituito da una piastra anch'essa in tungsteno, o molibdeno). Le unità di misura fondamentali dei raggi X sono il KiloElettronVolt (KeV, che misura la differenza di potenziale tra catodo e anodo e quindi, l'energia cinetica – penetranza – dei fotoni) e il milliAmpere (mA, che misura l'intensità di corrente che attraversa la spirale e, di conseguenza, il numero dei fotoni emessi).

In ambito diagnostico le due principali modalità di interazione dei raggi X con la materia che concorrono alla formazione dell'immagine sono:

#### - Effetto fotoelettrico

Il fotone interagisce con un elettrone di un atomo del paziente che attraversa la sua traiettoria e gli cede tutta la sua energia determinando così la sua completa attenuazione; il primo scompare, il secondo si "eccita" (sale di livello energetico orbitale atomico) o "ionizza" (lascia il proprio atomo di appartenenza, che si trasforma in un radicale, molto reattivo nei confronti degli atomi circostanti). Tale effetto è responsabile della gran parte del contrasto di un radiogramma.

#### - Effetto Compton

Il fotone cede parzialmente la sua energia all'elettrone urtato, senza attenuarsi completamente, continuando il suo cammino e provocando ulteriori interazioni; non è favorevole perché crea artefatti nel radiogramma per la formazione di una radiazione diffusa. Inoltre rappresenta la principale causa di esposizione professionale del personale che opera in Radiologia (scattered radiation).

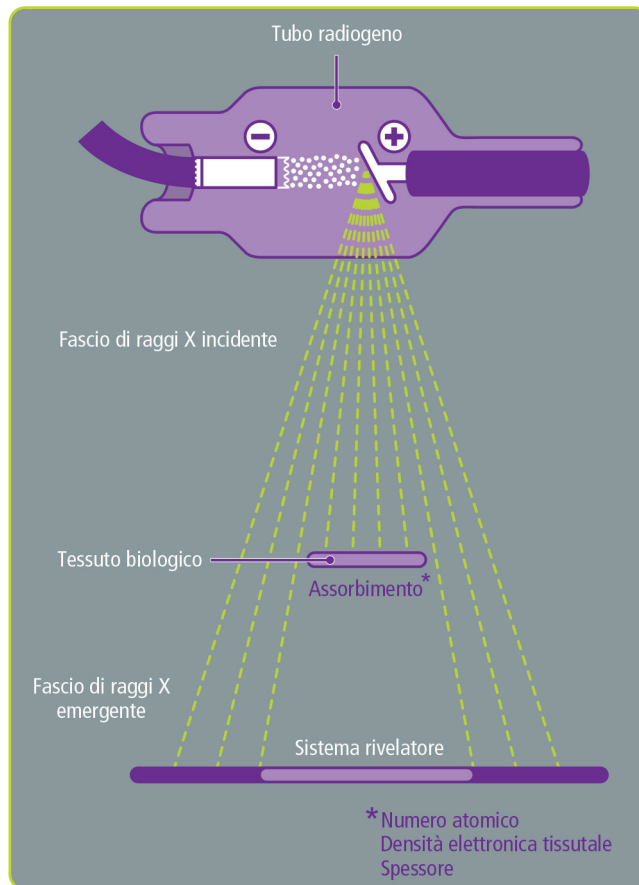


Figura 1.1: Schema di funzionamento di un tubo radiogeno per l'emissione di raggi X.

I raggi X prodotti incidono sul tessuto biologico che incontrano e lo attraversano in misura maggiore o minore a seconda delle **caratteristiche del tessuto** stesso (densità atomica, spessore e composizione molecolare del tessuto, in particolare numero atomico o "Z" degli atomi delle molecole che lo compongono). Al di là del soggetto in studio è posto un sistema rivelatore, che fino ad alcuni anni fa era una lastra di bromuro di argento, che veniva impressionata e sulla quale si "forma" l'immagine radiografica.

Misurando l'entità della radiazione captata dal sistema rivelatore e dunque, indirettamente, quella assorbita dal corpo anteposto, il sistema permette di risalire alla **radiodensità** del tratto di tessuto attraversato.

Il risultato è un cosiddetto radiogramma, ovvero un'immagine di sommazione bidimensionale e statica nella quale si proiettano strutture tridimensionali complesse. In altre parole, quello che vediamo in una radiografia è il risultato della sovrapposizione delle diverse strutture anatomiche che il fascio di raggi X incontra nel suo percorso attraverso la regione corporea in esame.

Le diverse strutture dell'organismo saranno dunque rappresentate con diverse tonalità di grigio in funzione della loro densità atomica, che dipende sostanzialmente dalle sostanze che la compongono e dal loro spessore. In ordine crescente di densità troveremo dunque:

- aria (nero, viene attraversata completamente dai raggi X, senza assorbire nulla);
- tessuto adiposo (grigio scuro);
- tessuti molli/acqua (grigio medio);
- calcio/metallo (grigio chiaro/bianco, si tratta delle strutture più dense che impediscono quasi completamente il passaggio dei raggi X).

### Ricorda...

#### Linguaggio radiologico

**Nero**= radiotrasparente o iperdiafano in radiologia tradizionale, ipodenso in TC

**Bianco**= radiopaco o ipodiafano in radiologia tradizionale, iperdenso in TC

L'asse d'incidenza del fascio di raggi X determina il piano della proiezione. In questo modo, un fascio incidente che attraversa il soggetto secondo un asse antero-posteriore dà origine a una proiezione *frontale* o *coronale*, un asse d'incidenza latero-laterale dà origine a una proiezione *sagittale* e un asse caudo-craniale realizza una proiezione *assiale*.

I raggi X generati dal tubo radiogeno vengono emessi con una conformazione "a ventaglio", creando un **fascio divergente** a partire dalla sorgente radiogena (**vedere la figura 1.1 alla pagina precedente**). Tale divergenza altera la proiezione dell'oggetto sulla pellicola determinandone un aumento apparente delle dimensioni. Per ridurre tale fenomeno è necessario ridurre al minimo la distanza tra l'oggetto e la pellicola (ad es. avvicinando il paziente il più possibile alla pellicola nell'esecuzione di un RX del torace, per evitare uno slargamento dell'ombra cardiaca) o aumentare la distanza fuoco-oggetto per ottenere un'immagine quanto più possibile simile a quella reale. Così facendo viene ridotta la divergenza dei raggi X.

## Principi di radioprotezione

Le radiazioni ionizzanti possono provocare due tipi di danni:

### - Somatico

Può accadere a qualsiasi tessuto dell'organismo e si manifesta più tipicamente con una neoplasia; le cellule più radiosensibili in assoluto sono i linfociti.

### - Genetico

Colpisce le cellule sessuali e viene trasmesso alla discendenza tramite i gameti.

Il motivo fondamentale che sta alla base del rischio biologico dei raggi X è che la loro lunghezza d'onda ha la stessa identica dimensione del passo d'elica del DNA, il che aumenta la probabilità di interazione e, di conseguenza, un danno. Inoltre, sia con l'effetto fotoelettrico che con quello Compton, vengono creati ioni capaci di radicalizzare l'ossigeno, i cui radicali liberi (ROS, *reacting oxygen species*) interagiscono con le strutture cellulari e con gli acidi nucleici, danneggiandoli.

Gli effetti delle radiazioni sull'uomo possono essere classificati in due differenti tipologie: *effetti di tipo deterministico* ed *effetti di tipo stocastico o probabilistico*. Per quanto riguarda i primi, esiste una dose-soglia al di sopra della quale si manifesta l'effetto, ed è possibile definire una relazione tra la dose assorbita e l'intensità dell'effetto. Tra questi si annoverano radiodermite e cataratta da radiazioni. Al contrario, gli effetti stocastici possono verificarsi con qualunque dose (teoricamente, anche un solo fotone può determinare un danno di tipo stocastico, per quanto improbabile) e per questo non è possibile stabilire una dose-soglia.

In questo secondo caso, quanto maggiore è l'esposizione alle radiazioni, maggiore è la probabilità di comparsa di un danno, ma non l'entità del danno stesso. Inoltre, possono avvenire a carico sia dei tessuti somatici che di quelli germinali.

La radiosensibilità di un tessuto è associata al suo grado di turnover cellulare (**SSM19, G, 133**). Le cellule muscolari ad esempio, così come le cellule nervose, sono poco radiosensibili in quanto cellule perenni. Cellule con elevato turn-over, come quelle del tessuto ematopoietico, sono molto radiosensibili. In particolare l'effetto delle radiazioni ionizzanti sulle cellule dipende dalla legge di Bergonie e Tribondeau secondo cui la radiosensibilità delle cellule è direttamente proporzionale al loro tasso di replicazione ed inversamente proporzionale al loro grado di differenziazione.

### Ricorda...

Effetti **DETERMIN**istici: soglia **DETERMIN**ata  
Effetti probabilistici: legge della probabilità

I tre principi fondamentali su cui si basa la **radioprotezione** sono stati stabiliti dal decreto legislativo 31 Luglio 2020 n. 101 /Consolidato 2023 - Agg. D. Lgs 203/2022:

### - Giustificazione

Il danno potenziale da radiazioni deve essere compensato dal vantaggio diagnostico potenziale.

### - Ottimizzazione

Le esposizioni alle radiazioni ionizzanti devono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali (principio ALARA).

### Ricorda...

**ALARA**= As Low As Reasonably Achievable  
**ALADA**= As Low As Diagnostically Achievable

### - Limitazione delle dosi

La somma delle dosi ricevute non deve superare i limiti prescritti dalla legge.

## Unità di misura in radioprotezione

Il LET (linear energy transfer) rappresenta l'energia depositata dalla radiazione lungo il suo percorso all'interno dei tessuti attraversati. Maggiori sono le interazioni radiazione-materia, minore sarà la distanza percorsa dalla radiazione stessa. Raggi X, gamma ed elettroni sono radiazioni a basso LET (determinano ionizzazione sparsa), mentre protoni, neutroni e particelle alfa sono ad alto LET (determinano ampia ionizzazione della materia).

Le radiazioni inoltre vengono suddivise in direttamente ionizzanti (agiscono direttamente sugli atomi bersaglio) e indirettamente ionizzanti (agiscono sulle molecole d'acqua i cui radicali perossidi sono responsabili del danno al DNA). Gli effetti nocivi delle radiazioni ionizzanti si manifestano quando si verifica una cessione di energia al mezzo attraversato, e per quanto riguarda i tessuti biologici si parla comunemente della quantità di **energia assorbita per unità di massa**.

I concetti di esposizione, dose assorbita, intensità, ed equivalenza di dose ricorrono frequentemente quando si parla di protezione radiologica.

L'**esposizione** è un concetto che dovrebbe essere utilizzato solo quando si parla di radiazioni elettromagnetiche.

Per **dose assorbita** (D) s'intende in termini fisici la quantità di energia assorbita da un mezzo a seguito di esposizione a radiazioni ionizzanti, per unità di massa del materiale irradiato. Si misura in **gray** (Gy). (**SSM15, G, 4**)



Un gray corrisponde all'assorbimento di un joule di energia in un Kg di materia ( $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/Kg}$ )  
 $D = E/m \rightarrow (\text{Gy}) \text{ o } (\text{J/Kg})$

Poiché la dose assorbita è il risultato dell'interazione radiazioni-materia, essa dipenderà dalle radiazioni e dalle proprietà del materiale irradiato.

Così, ad esempio, l'esposizione a una radiazione X di  $1 \text{ J/Kg}$ , corrisponde ad una dose assorbita:

- in aria pari a  $8.87 \text{ mGy}$ ;
- nei tessuti molli del corpo umano pari a circa  $10 \text{ mGy}$ ;
- nell'osso da  $10$  a  $30 \text{ mGy}$ , a seconda del punto preciso considerato all'interno dell'osso.

Al contrario dell'esposizione, il concetto di dose assorbita può indifferentemente essere applicato a tutti i tipi di radiazioni ionizzanti.

L'**intensità** o rateo di dose assorbita: rappresenta la dose assorbita in una unità di tempo e si misura in gray per secondo ( $\text{Gy/s}$ ).

**Dose equivalente** ( $H_T$ ): rappresenta la dose assorbita nel tessuto o nell'organo T dovuta alla radiazione R. La dose equivalente si misura in **sievert** (Sv). È data dalla relazione:

$$H_{T,R} = w_R \times D_{T,R}$$

dove:  $D_{T,R}$  è la dose assorbita media nel tessuto o nell'organo T, dovuta alla radiazione R.  $w_R$  è il fattore di ponderazione per la radiazione R, anche detto **fattore di pericolosità**.

### Ricorda...

Un RX torace corrisponde mediamente a  $0,1 \text{ mSv}$ .  
 La radiazione media del fondo naturale è  $2,4 \text{ mSv/anno}$

## 1.2. Ecografia

Rappresenta un esame di primo livello in molteplici e differenti scenari clinici (es. distretto epato-bilio-pancreatico, apparato urinario, studio di muscoli e tendini, ma anche cuore e vasi). I suoi vantaggi principali rispetto ad altri esami sono l'assenza di esposizione alle radiazioni ionizzanti, la grande disponibilità (economico, rapido, accessibile), la possibilità di utilizzo direttamente al letto del paziente e di realizzare procedure interventistiche eco-guidate in modo semplice. Il limite principale dell'ecografia è rappresentato dal fatto che essa è operatore-dipendente.

### Funzionamento

L'ecografia si basa sull'impiego di **onde ultrasonore** (US), ovvero onde meccaniche ad elevata frequenza (**SSM14, G, 67**) (oltre i  $20 \text{ KHz}$ , molto al di sopra della soglia dell'udito umano). Le onde ultrasonore sono generate da una sonda (o trasduttore) che contiene al suo interno dei **cristalli aventi proprietà piezoelettriche** che, attraverso uno stimolo elettrico, entrano in vibrazione determinando la produzione delle onde ultrasonore. Allo stesso modo, il cristallo piezoelettrico è in grado di ricevere quelli che sono gli echi di ritorno delle suddette onde dal corpo del paziente, e di trasformarli in stimoli elettrici che sono interpretati dall'ecografo e rappresentati in forma d'immagini sul monitor. Si possono così distinguere due fasi: una di emissione del segnale sonoro e una di ricezione degli echi.

Ogni struttura del corpo umano è caratterizzata da una propria **impedenza acustica (misurata in Rayl)**, cioè la sua resistenza intrinseca alla propagazione degli US (che dipende dalla sua densità atomica, velocità dell'US nel mezzo e dalle forze di coesione tra le molecole).

Tra strutture ad impedenza acustica diversa si crea un'**interfaccia acustica**, ed ogni volta che il fascio di US incontra l'interfaccia tra due strutture a diversa impedenza viene in parte riflesso (ritornando in direzione del trasduttore), in parte trasmesso ed in parte assorbito.

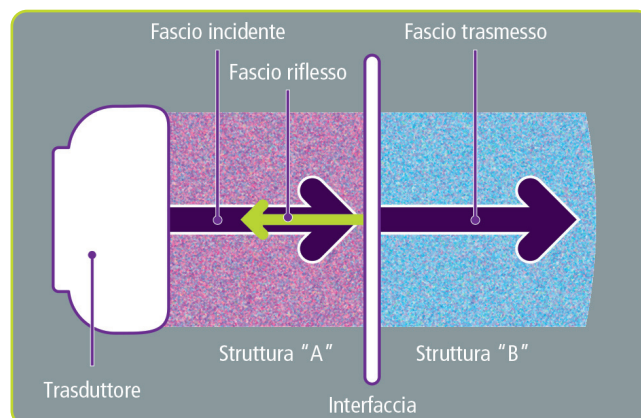


Figura 1.2: Schema di funzionamento di un ecografo.

Gli echi riflessi vengono quindi nuovamente captati dal trasduttore ed elaborati dal computer per generare un'immagine 2D sul monitor, corrispondente alla sezione "esplorata" dalle onde sonore. Ogni eco viene rappresentata da un punto di luminosità espressa in scala di grigio, proporzionale alla sua intensità.

Quando il fascio di onde sonore incontra un'interfaccia acustica, l'intensità dell'eco riflessa dipende dalla differenza di impedenza acustica tra le due strutture affrontate ("A" e "B" nell'immagine). Per questo motivo, tessuti con valori d'impedenza molto bassi (come l'acqua) si lasciano attraversare totalmente dagli ultrasuoni, mentre tessuti con impedenza acustica molto alta (come l'osso) generano un fascio riflesso molto importante, tale da impedire la valutazione delle strutture più in profondità.

(Vedere la figura 1.2 e la Tabella 1.1)

TESSUTI	IMPEDENZA ACUSTICA (RAYL)
Aria	0,0004
Grasso	1,38
Acqua	1,48
Sangue	1,61
Reni	1,62
Tessuti molli	1,63
Fegato	1,65
Muscolo	1,70
Osso	7,80

Tabella 1.1: Impedenza acustica di diversi tessuti del corpo umano.

### Tipi di sonde ecografiche

Esistono differenti tipi di sonde ecografiche, utilizzate per realizzare studi diversi:

#### - Sonda lineare

Utilizzata per lo studio di organi superficiali (tiroide, mammella, cute, muscoli e tendini, vasi superficiali, etc.) (**SSM14, G, 62; SSM15, S, 19**), utilizza frequenze elevate di  $7.5-20 \text{ MHz}$ , che forniscono una elevata risoluzione spaziale ma raggiungono qualche cm di profondità (campo di vista superficiale). Esistono in commercio sonde lineari che raggiungono