LET'S SCIENCE!

6

Francesco Mascaro

DIAGNOSTICA PER IMMAGINI

Come vedere
ciò che è invisibile
a occhio nudo

IBSA FOUNDATION for scientific research

LET'S SCIENCE!

Francesco Mascaro

DIAGNOSTICA PER IMMAGINI

Come vedere ciò che è invisibile a occhio nudo

IBSA FOUNDATION for scientific research

Repubblica e Cantone Ticino
Dipartimento dell'educazione, della cultura e dello sport

© copyright 2020 by Carocci editore

Finito di stampare nel mese di xxx 2020 da Eurolit

Progetto grafico di Ulderico Iorillo e Valentina Pochesci

Riproduzione vietata ai sensi di legge (art. 171 della legge 22 aprile 1941, n. 633)
Senza regolare autorizzazione, è vietato riprodurre questo volume anche parzialmente
e con qualsiasi mezzo, compresa la fotocopia, anche per uso interno o didattico.

Volume stampato su Fedrigoni Arcoprint 300 g (copertina) e 100 g (interni)

INDICE

5 Prefazione

7 **PARTE PRIMA** DIAGNOSTICA PER IMMAGINI

8 Introduzione

9 La scoperta della radioattività

11 Nasce la diagnostica per immagini

12 Le radiazioni

23 Metodologie diagnostiche che utilizzano radiazioni ionizzanti

31 Metodologie diagnostiche che utilizzano radiazioni non ionizzanti

38 Uno sguardo alla medicina nucleare

40 Conclusioni e prospettive

43 **PARTE SECONDA** UNA CADUTA A LIETO FINE

57 Glossario

PREFAZIONE

Quanto sono conosciute le ricadute, sulla nostra vita quotidiana, della ricerca scientifica e della pratica medica? Quali sono le "passioni" e le motivazioni che animano i ricercatori e i professionisti della salute? Che cosa conosciamo della loro professione?

Molti sono gli sforzi che la società mette in atto per far conoscere la scienza e le sue implicazioni alle persone comuni. Pensiamo, ad esempio, alla varietà di opuscoli che promuovono l'importanza di uno stile di vita sano e, in generale, il benessere. Naturalmente anche la scuola fa la sua parte, proponendo dei principi di alfabetizzazione scientifica e la sensibilizzazione su una serie di tematiche che favoriscono la costruzione di una cultura scientifica per i nostri giovani.

Il progetto *Let's Science!* – realizzato da Fondazione IBSA per la ricerca scientifica in collaborazione con il Dipartimento dell'educazione, della cultura e dello sport del Canton Ticino (DECS) – prende avvio proprio da queste riflessioni. Il partenariato ha permesso di individuare interessanti aree tematiche che sono state affrontate coinvolgendo gli scienziati operanti sul territorio cantonale. Sono state così accostate due realtà – la ricerca scientifica e la scuola – spesso distanti, favorendo il dialogo tra professionisti e allievi, coinvolti in workshop tematici allo scopo di sviluppare una sensibilità sia al tema che alla sua comunicazione.

Ma qual è stato l'orizzonte tematico del progetto e quali le riflessioni che hanno portato a determinate scelte strategiche? La scienza e la ricerca, specie nella biomedicina e nelle discipline correlate, avanzano rapidamente e il continuo ampliarsi dei campi di indagine richiede un costante sforzo di aggiornamento per mantenere sia una prospettiva storica che per accogliere le non poche novità. Poter disporre di informazioni scientificamente corrette, proposte attraverso un linguaggio accessibile, apre la possibilità a ragazze e ragazzi di avvicinarsi e appassionarsi a tematiche giudicate in genere "difficili".

Nasce così la collana *Let's Science!* che si propone di ampliare il panorama degli argomenti scientifici che possono essere approfonditi a scuola. I temi, di natura interdisciplinare e direttamente correlati con la salute e il benessere della persona, sono presentati in modo innovativo: il testo scientifico è infatti

accompagnato da una storia realizzata partendo dall'esperienza di classi delle scuole medie cantonali che, accompagnate dai loro docenti, hanno sviluppato delle sceneggiature originali tradotte poi in altrettanti fumetti da professionisti del settore.

Non ci resta, dunque, che invitare il giovane lettore a lasciarsi sorprendere dai campi di ricerca di sicuro fascino di *Let's Science!* che aprono a loro volta opportunità di ulteriori domande e approfondimenti. Chissà che qualcuno tra questi lettori non diventi a sua volta un giorno colei o colui che compirà importanti passi avanti nella comprensione della complessità della vita e del delicato equilibrio che permette di vivere sani e felici. Buona lettura!

SILVIA MISITI
Direttore della Fondazione IBSA per la ricerca scientifica

NICOLÒ OSTERWALDER
Consulente didattico della Divisione scuola per le scienze naturali (DECS)

Diagnostica per immagini

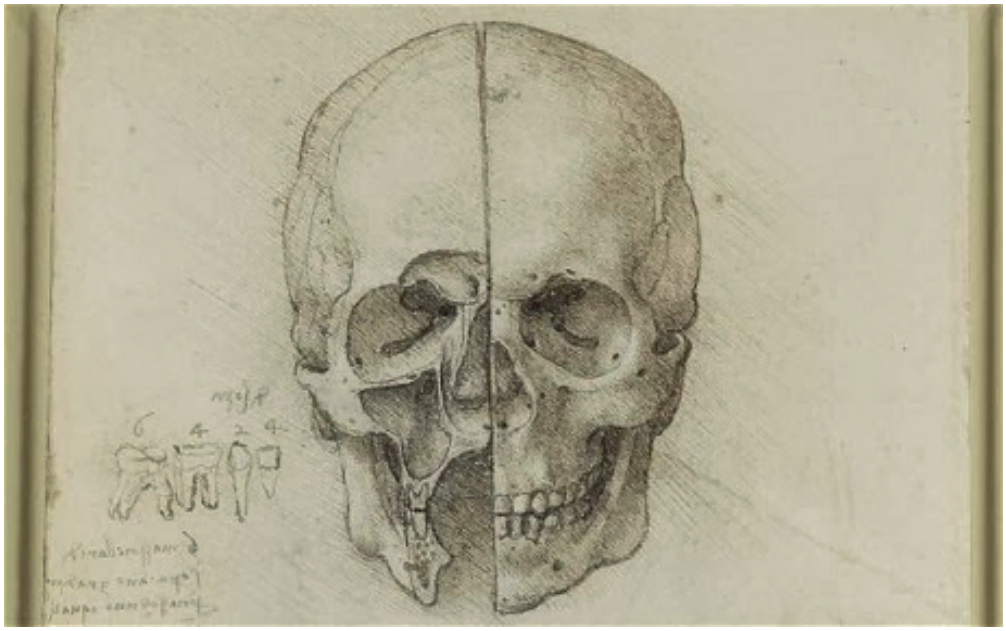
PARTE PRIMA

INTRODUZIONE

Vi siete mai chiesti come sia possibile osservare l'interno del nostro corpo e capire come esso funzioni senza sezionarlo? Studiare l'anatomia e la fisiologia del corpo umano per coglierne la struttura e la funzione è qualcosa che gli scienziati hanno cominciato a fare in maniera sistematica molto tempo fa, soprattutto studiando i cadaveri (il primo trattato di medicina che esplora l'anatomia risale al 1270 e lo si deve al chierico Guglielmo da Saliceto che scrisse il *Liber in scientiae medichae*).

Per molto tempo, l'unico modo per guardare all'interno del corpo umano era tramite le autopsie e la successiva riproduzione in disegni anatomici, di cui fu maestro Leonardo da Vinci. Il grande artista e scienziato, considerato uno dei più grandi geni dell'umanità, si dedicò infatti per molti anni allo studio del corpo umano. In realtà, anche prima di lui, quasi tutti i pittori e scultori facevano studi di anatomia per accrescere le loro qualità artistiche e riprodurre, nel

Figura 1 Disegno anatomico del cranio di Leonardo da Vinci



modo più verosimile, la struttura del corpo umano e il movimento dei muscoli. Leonardo, tuttavia, affascinato dalla "maravigliosa macchina umana", andò oltre. A lui si devono le prime illustrazioni anatomiche del corpo umano visto da dentro. Grazie alle numerose dissezioni su cadaveri che poté eseguire, iniziò a descrivere e a raffigurare gli organi interni, le articolazioni, il funzionamento della circolazione sanguigna, il sistema nervoso, la riproduzione umana eccetera [**figura 1**].

Oggi abbiamo dei mezzi tecnologici che ci permettono di osservare, studiare e capire la struttura anatomica e il funzionamento (e il malfunzionamento) anche di corpi vivi e questo, capirete, è un grande vantaggio che consente, soprattutto, di salvare vite umane.

Insieme, in questo volume, vedremo come è nata la tecnologia alla base della moderna diagnostica per immagini. Per fare questo passeremo in rassegna scoperte, macchinari e tecnologie che hanno segnato la storia dell'ultimo secolo e poco più.

LA SCOPERTA DELLA RADIOATTIVITÀ

Tutto era destinato a cambiare con la scoperta della radioattività. Nel 1895, una celebre articolo, *Su di una nuova specie di radiazioni*, scritto dal professore di fisica Wilhelm Conrad Röntgen, informò tutto il mondo della scoperta dei raggi X.

La scoperta avvenne, quasi casualmente, la sera dell'8 novembre 1895. Da diverse settimane Röntgen era chiuso nel suo laboratorio a Würzburg a studiare i raggi catodici, facendo esperimenti con un tubo attraverso il quale faceva passare un fascio di elettroni. A un certo punto si accorse che un pannello cosparso di una sostanza fluorescente, posto a poca distanza dal tubo, aveva iniziato a brillare fiocamente. Ricoprì allora il tubo con dei fogli di cartoncino nero molto spessi e continuò a lavorare completamente al buio, ma il bagliore era ancora visibile. Qualunque cosa fosse, era in grado di attraversare il cartoncino. Ma non solo! Si accorse anche che, mettendo la sua mano sulla traiettoria del fascio di raggi, vedeva l'ombra delle ossa sul pannello. Dopo aver ripetuto l'esperimento

più volte per essere sicuro di non sbagliare, provò a fermare il raggio misterioso interponendogli diversi materiali, e scoprì che l'unico che riusciva a bloccarlo era il piombo. Chiese quindi alla moglie di tenere ferma la mano sulla lastra e, dopo 15 minuti di emissione di raggi diretti contro la lastra ottenne la prima radiografia della storia: un'immagine delle ossa della mano di sua moglie e del suo anello nuziale [**figura 2**]. Decise di chiamare i misteriosi raggi "X", come il segno matematico che indica una quantità sconosciuta.

Perché si chiamano raggi X?

Figura 2 Radiografia della mano sinistra della moglie di Wilhelm Conrad Röntgen

Il 28 dicembre 1895, Röntgen consegnò alla Società di Fisica medica di Würzburg il resoconto della sua scoperta, chiedendo che fosse pubblicato rapidamente. Nel giro di pochi giorni la notizia divenne di dominio pubblico, grazie al grande risalto con cui la stampa internazionale la diffuse.

Nel 1901 fu assegnato a Röntgen il premio Nobel per la fisica «in riconoscimento dello straordinario servizio reso per la scoperta delle importanti radiazioni che in seguito presero il suo nome». Ancora oggi in Germania, infatti, i raggi X si chiamano *Röntgenstrahlen* (raggi Röntgen).

Il grande fisico regalò il premio in denaro che aveva ricevuto all'Università di Würzburg per finanziare nuove ricerche.

L'anno successivo, nel 1896, Antoine Henri Becquerel, investigando sulla fosforescenza dei sali di uranio scoprì la radioattività naturale. Si accorse, infatti, che alcuni materiali emettevano una radiazione anche senza il bisogno di essere eccitati da una luce.

Nel 1898 Marie e Pierre Curie riuscirono a isolare da tonnellate di pechblenda (un minerale contenente uranio naturale) una piccola quantità di un nuovo elemento, 330 volte più radioattivo dell'uranio. Fu chiamato polonio, in onore del paese di origine di Marie (il suo nome era in realtà Maria Skłodowska). Pochi mesi più tardi scoprirono un altro elemento, 900 volte più radioattivo dell'uranio, il radio. Marie realizzò che l'emissione di radiazioni è una proprietà atomica dell'uranio e chiamò il fenomeno **radioattività**.

Insieme a Becquerel Marie e Pierre Curie vinceranno, nel 1903, il Nobel per la fisica per le ricerche sui fenomeni radioattivi, mentre i soli coniugi Curie vinceranno un secondo Nobel nel 1911 per la scoperta del polonio e del radio.

NASCE LA DIAGNOSTICA PER IMMAGINI

Prendeva avvio così, alla fine dell'Ottocento, una nuova era per la medicina. Iniziarono cioè le prime applicazioni dei raggi X in campo medico. Uno dei pionieri fu John Francis Hall-Edwards, medico britannico e grande appassionato di fotografia. Introdusse, infatti, l'utilizzo dei raggi X nell'ospedale di Birmin-

gham per diagnosticare le fratture e fu il primo a impiegare la radiografia durante un intervento chirurgico e a eseguire una radiografia della colonna vertebrale.

Negli anni successivi i raggi X vennero utilizzati sempre più spesso. Un esempio particolare è quello delle **Petites Curies**, piccole vetture dotate di radiologia mobile che furono utilizzate nel corso della prima guerra mondiale per i soldati francesi al fronte. Fu eseguito più di un milione di esami radiologici. Questo primo servizio di radiologia, fondato e gestito da Marie Curie, contribuì a curare e salvare la vita di molti militari.

Cosa erano le Petites Curies?

Una donna eccezionale, quindi, Marie Curie: la prima a ricevere un premio Nobel e l'unica, ancora oggi, ad averne ricevuti due. Premiata per le sue straordinarie ricerche e scoperte contribuì in maniera significativa al cambiamento e alla storia del mondo, una vera *femme engagée*.

Finalmente era possibile guardare all'interno del corpo umano con occhi e metodi diversi! Grazie alle prime radiografie, è stato avviato un percorso, in continua evoluzione, che ci consente di esplorare il nostro corpo dall'esterno attraverso la formazione di immagini. Questa disciplina è denominata **diagnostica per immagini** o **imaging biomedico**.

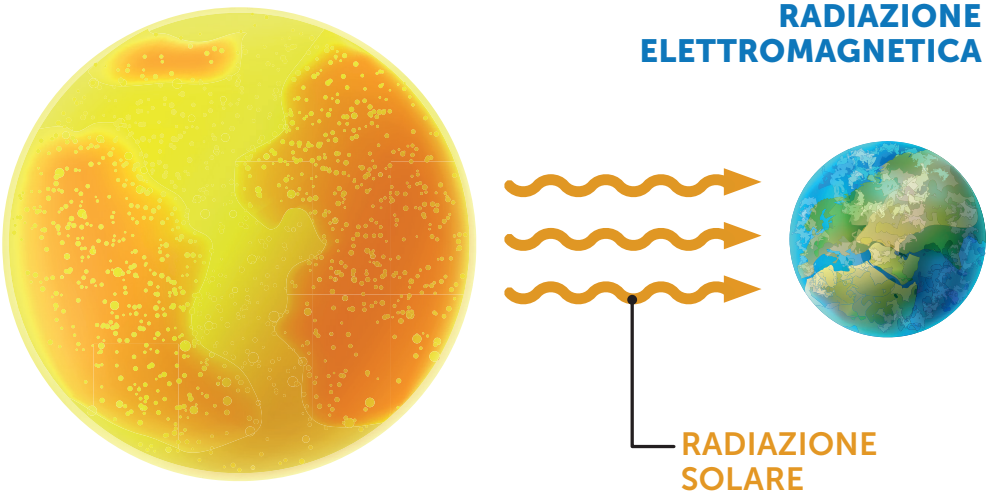
LE RADIAZIONI

Prima di parlare della diagnostica per immagini in radiologia è importante definire gli aspetti delle radiazioni, i loro effetti e come proteggersi.

La **radiazione** è l'emissione o la trasmissione di energia sotto forma di onde o particelle attraverso lo spazio o un materiale. Un esempio è quando guardiamo il Sole e percepiamo la luce e il calore che emana. In pratica, viene trasferita dell'energia dal Sole alla Terra e siamo quindi in presenza di una radiazione [**figura 3**].

Generalmente le radiazioni che vengono utilizzate nella diagnostica per immagini occupano la zona a più elevata frequenza dello **spettro elettromagne-**

Figura 3 La radiazione solare sulla terra



tico che indica l'insieme di tutte le possibili frequenze delle radiazioni elettromagnetiche. L'**elevata frequenza** e la **corta lunghezza d'onda** conferiscono le proprietà necessarie per l'utilizzo nel campo della diagnostica.

L'energia è trasportata da particelle chiamate fotoni che viaggiano alla velocità della luce. L'energia di questi fotoni è inversamente proporzionale alla loro lunghezza d'onda; ciò significa che più corta è la lunghezza d'onda, maggiore sarà l'energia associata al fotone. La stessa relazione può essere descritta anche in base alla frequenza: più è elevata la frequenza, maggiore è l'energia associata. L'equazione per calcolare l'energia associata a un fotone ha la seguente formula: E = (h·c)/lambda, dove **h** è la costante di Planck, **c** è la velocità della luce nel vuoto e **lambda** è la lunghezza d'onda del fotone. Il fatto che h e c siano delle costanti spiega il motivo per cui l'energia associata al fotone è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda lambda. L'unità di misura con cui viene espressa l'energia associata ai fotoni è l'eV (electronvolt) dove un J (joule) è pari a 6.24×10^{18} eV.

La radiazione visibile viene percepita sotto forma di **luce**. Questa parte dello spettro elettromagnetico è compresa tra una lunghezza d'onda di 760 nm

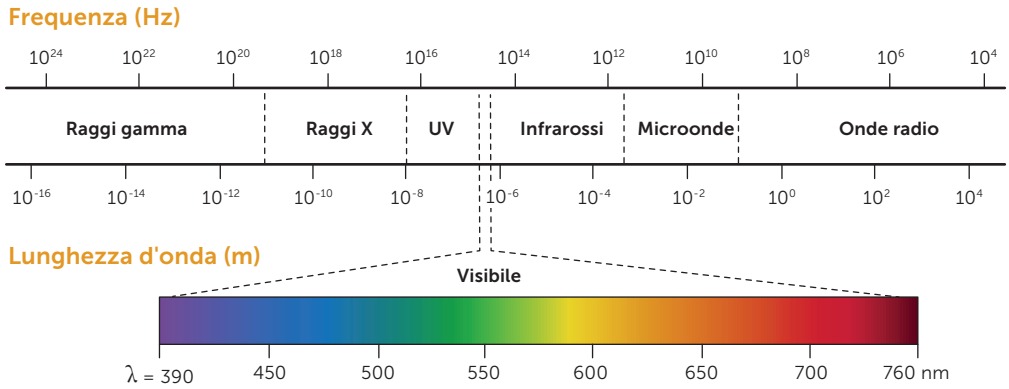
($7x^{10-7}$ m) del colore rosso e 390 nm ($4x^{10-7}$ m) del colore violetto. Le radiazioni utilizzate per la diagnostica per immagini, ad esempio per le radiografie e la TAC, corrispondono a una lunghezza d'onda pari a 10^{-10} m. Più corta è la lunghezza d'onda, maggiori saranno la frequenza e l'energia della radiazione [**figura 4**].

Se l'energia della radiazione incidente sulla materia è sufficiente a modificare la struttura degli atomi o delle molecole con le quali viene a contatto la radiazione viene denominata **ionizzante**. In caso contrario, viene definita **non ionizzante**. Questi sono due principi importanti che rappresentano lo spartiacque iniziale, nella diagnostica per immagini, per capire se una radiazione è dannosa per l'essere umano o no.

Quali sono le radiazioni pericolose per l'uomo?

Vi ricordate John Francis Hall-Edwards, citato in precedenza? I suoi esperimenti pionieristici con i raggi X non tennero conto di questo aspetto: i raggi danneggiarono le cellule del suo corpo a un punto tale che fu necessario asportare sia il braccio sinistro che alcune dita del destro; per questo motivo lavorare in questi campi richiede molte precauzioni e anche i pazienti devono essere adeguatamente protetti.

Figura 4 Spettro elettromagnetico



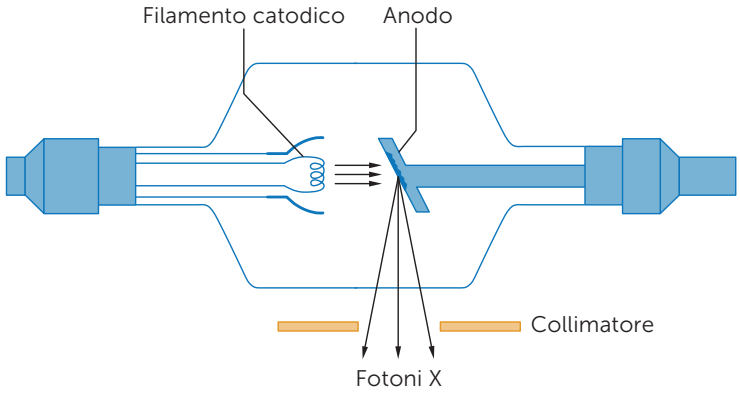
Altre tecniche utilizzate per la produzione di immagini si basano sull'utilizzo di **ultrasuoni**, come ad esempio l'ecografia, e altre ancora, come la risonanza magnetica, sull'uso di **campi elettromagnetici** e **radiofrequenze**. L'ecografia e la risonanza magnetica non risultano nocive per l'essere umano in quanto non sono in grado di ionizzare gli atomi o le molecole biologiche. Sono pertanto utilizzate anche nelle donne in gravidanza e nei bambini.

PRODUZIONE DEI RAGGI X

Le radiazioni ionizzanti principali utilizzate nel campo della diagnostica per immagini sono i **raggi X**. Essi vengono prodotti grazie al tubo radiogeno o tubo a raggi X, il cui prototipo è il tubo di Coolidge.

Il tubo radiogeno [**figura 5**] è un'ampolla di vetro sottovuoto, dove a un'estremità è presente il catodo e, all'estremità opposta, l'anodo. Il catodo è costituito da un filamento che, se portato all'incandescenza, libera elettroni dalla sua superficie (ricordiamo che gli elettroni sono particelle cariche e hanno carica negativa, per questo il catodo è detto anche elettrodo negativo). Congiuntamente, viene applicata una differenza di potenziale, che in genere può arrivare fino a 140.000 V (volt), e che permette agli elettroni posti a livello del catodo di accelerare in direzione dell'anodo (poiché l'anodo è carico positivamente, si crea un campo elettrico molto forte lungo il quale gli elettroni con carica negativa si spostano dal catodo all'anodo) (vedi le frecce nella **figura 5**).

Figura 5 Schema di un tubo radiogeno



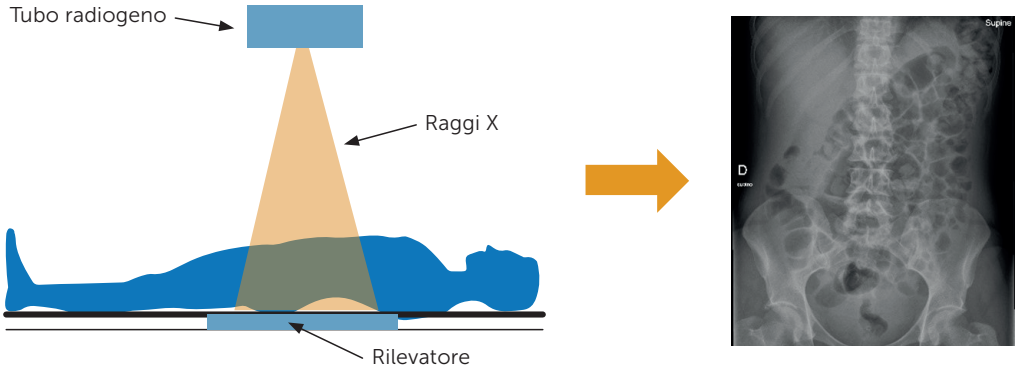
L'anodo è costituito da un disco o piattello metallico generalmente di tungsteno (lo stesso tipo di materiale che costituisce il filamento delle lampadine a incandescenza). Quando il fascio di elettroni (chiamato anche raggio) provenienti dal catodo va a colpire l'anodo, la maggior parte dell'energia cinetica degli elettroni, circa il 99%, viene dissipata sotto forma di calore. Il rimanente 1%, grazie ad alcuni fenomeni fisici, viene emesso sotto forma di raggi X (fotoni X).

I raggi X prodotti dal tubo radiogeno possono ora partire in direzione del paziente: la maggior parte interagisce con i tessuti del corpo umano, mentre una piccola parte li attraversa fino a giungere su un apposito rilevatore. Successivamente, le informazioni raccolte vengono codificate generando la formazione dell'immagine [**figura 6**].

Le metodiche principali utilizzate per la diagnostica per immagini che necessitano della presenza di un tubo radiogeno e, quindi, della produzione di raggi X sono:

- la radiologia convenzionale;
- la fluoroscopia o radioscopia;
- la tomografia assiale computerizzata (TAC);
- la mammografia.

Figura 6 Radiografia dell'addome in posizione supina



Posizionamento del paziente

Radiografia

Come
ci si protegge
dalle radiazioni?

Poiché i raggi X sono in grado di ionizzare le molecole biologiche, risultano dannosi per le cellule degli esseri viventi. È importante, quindi, comprendere i loro effetti e come possiamo limitarli.

Nel corso del secolo scorso ci si è interrogati sugli effetti delle radiazioni sull'essere umano. Ancora oggi molte sono le domande aperte alle quali la comunità scientifica cerca di dare delle risposte. La radiobiologia e la radioprotezione sono due discipline che ci aiutano a comprendere gli effetti delle radiazioni sull'essere umano e le misure di protezione da adottare per limitarne la dannosità.

◎ RADIOBIOLOGIA

La radiobiologia è la branca delle scienze biologiche che si occupa degli effetti delle radiazioni sulla materia vivente.

Il danno della **radiazione** ai tessuti biologici è originato dall'interazione che esse hanno con la cellula a livello microscopico. In particolare, la radiazione è in grado di danneggiare l'acido desossiribonucleico (DNA) nucleare (nDNA), causando modifiche più o meno complesse dei due filamenti che lo costituiscono.

In linea di principio, le cellule umane sono in grado di riparare il danno da radiazione ionizzante da sé. Una volta riparato il danno, la cellula continua a svolgere la propria attività all'interno del corpo umano. Tuttavia, se la cellula non è in grado di ripararlo, può andare incontro ad **apoptosi** (morte cellulare programmata), un processo biologico che preserva l'essere umano anche dall'insorgenza di danni causati da radiazioni ionizzanti.

Per contro, quando il DNA cellulare è troppo danneggiato, o in caso di malfunzionamento dei meccanismi di riparazione, il danno causato può sfociare in danni ai tessuti e in fenomeni clinicamente osservabili come la necrosi.

Infine, l'introduzione di una riparazione errata a carico del DNA può produrre una cellula vitale con delle mutazioni che possono portare a sviluppi di tumori o ad anomalie ereditarie.

L'interazione fisica, chimica e biochimica della radiazione ionizzante con il DNA avviene in una frazione di secondo, mentre la manifestazione clinica dell'effetto può avvenire a distanza di pochi minuti, come anche a decine di anni dall'irradiazione.

Si distinguono due tipi di effetti delle radiazioni sull'essere umano: gli effetti deterministici e gli effetti stocastici (definiti anche a carattere probabilistico).

Gli **effetti deterministici** si manifestano generalmente subito dopo l'esposizione alla radiazione ionizzante, compaiono al superamento di un valore soglia e portano al malfunzionamento dell'organo. Maggiore è la dose che l'individuo assorbe e maggiore sarà la severità del danno. Tra di essi si annoverano gli eritemi, le ustioni cutanee e danni che portano alla sterilità [**figura 7**].

Gli **effetti stocastici** o a carattere probabilistico sono dovuti a mutazioni prodotte a livello cellulare. Per questi effetti non è stata individuata una soglia; si ipotizza che il rischio di sviluppare il cancro aumenti linearmente con la dose. Maggiore è la dose di radiazione ionizzante a cui è esposto l'individuo e maggiore è la frequenza a cui l'individuo viene esposto a questa dose durante la vita, maggiore sarà la probabilità d'insorgenza del cancro o di malformazioni nei suoi discendenti [**figura 8**].

Figura 7 Effetti deterministici delle radiazioni sull'essere umano

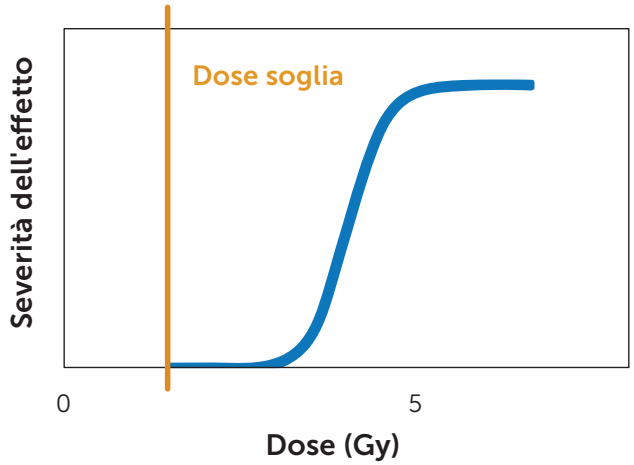


Figura 8 Effetti stocastici delle radiazioni sull'essere umano

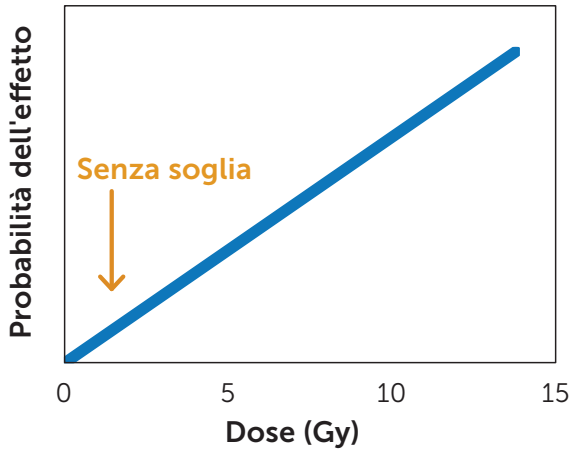
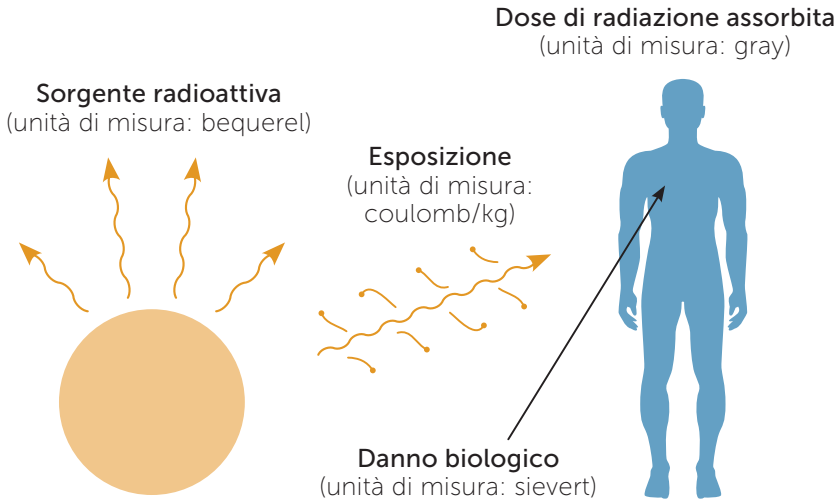


Figura 9 Unità di misura della radioattività



L'energia che le radiazioni cedono all'unità di massa in un dato punto della regione anatomica irradiata prende il nome di **dose**. Nel sistema internazionale l'assorbimento di 1 joule di energia da parte di 1 kg di materia prende il nome di **gray** (Gy) [**figura 9**]. Il rischio di provocare danni alle cellule cresce con la quantità di energia rilasciata.

L'indicatore del rischio utilizzato per le radiazioni è la **dose efficace**, espressa in **sievert** (Sv), che tiene conto del tipo di radiazione e del tipo di tessuto irradiato. Il Sv è in definitiva una misura dell'effetto sulla salute della radiazione ionizzante.

Vi siete mai chiesti quanti esami con radiazioni ionizzanti (per esempio radiografie, TAC) possiamo eseguire durante la nostra vita? È una domanda lecita, che trova risposta grazie all'applicazione di normative alle quali gli operatori sanitari sottostanno. La prescrizione di esami con radiazioni ionizzanti, ma non solo, è di responsabilità medica. L'esecuzione di un esame è ponderata in rapporto al beneficio che la persona trae dal punto di vista della salute rispetto ai rischi biologici causati dalla radiazione ionizzante; viene applicato cioè un principio di giustificazione. Non vi è pertanto un numero massimo di esami eseguibili durante la propria vita, ma di volta in volta si valutano le ragioni, i benefici e i rischi per i quali devono essere eseguiti.

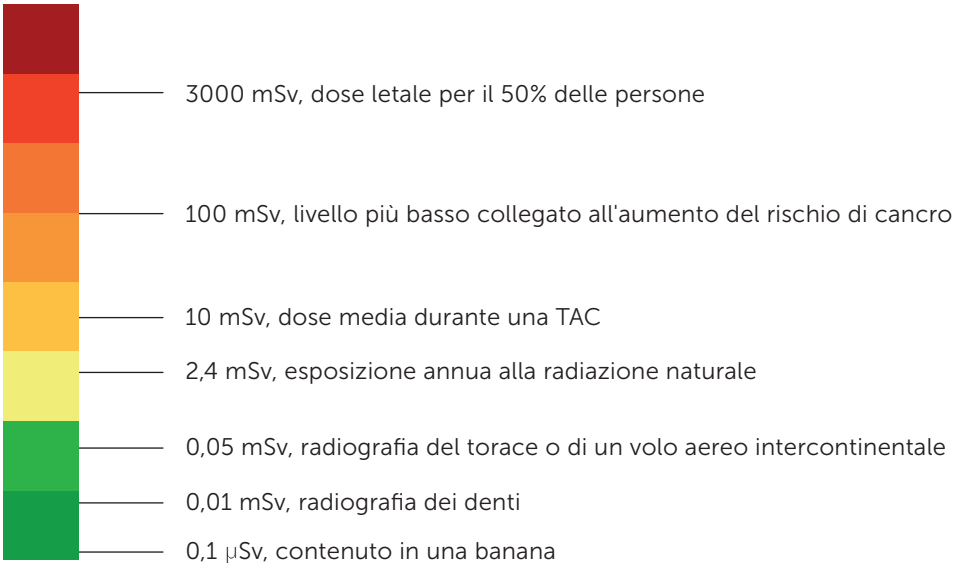
Cos'è il principio ALARA?

E poi, come facciamo a limitare i rischi sulle persone? Limitare i rischi sulle persone che si sottopongono a esami con radiazioni ionizzanti passa anche attraverso il principio ALARA (*as low as reasonably achievable*). Nel campo della diagnostica per immagini il principio ALARA permette di eseguire gli esami con radiazioni ionizzanti con l'intento di diminuire il più possibile la dose (l'energia che le radiazioni cedono all'unità di massa in un dato punto) che la persona riceve, senza inficiare la qualità dell'immagine prodotta e quindi l'esito diagnostico e, in alcuni casi, interventistico.

Una delle sfide alle quali le organizzazioni stanno lavorando è l'introduzione di un passaporto dosimetrico individuale che permette di monitorare con efficacia la dose che una persona riceve, nel campo delle applicazioni mediche, durante la vita.

Dalla scala di confronto di dose vediamo che la radiazione è presente a livello naturale, che varia a seconda della regione in cui si vive, ed è presente all'interno di alcuni alimenti. Il nostro corpo è generalmente in grado di reagire in maniera efficace evitando l'insorgere di possibili danni [**figura 10**].

Figura 10 Confronto delle dosi espresse in millisievert (mSv)



RADIOPROTEZIONE

La radioprotezione è una disciplina nata come campo applicativo della radiobiologia e si occupa della protezione dagli effetti dannosi delle radiazioni ionizzanti per l'individuo, la sua discendenza, la popolazione in genere e l'ambiente [**figura 11**].

Gli obiettivi sono prevenire gli effetti deterministici e limitare la probabilità di effetti stocastici a un livello accettabile (riduzione del rischio clinico).

I principi base della radioprotezione possono essere riassunti nel termine **GOL**:

- **G** giustificazione delle attività con le radiazioni;
- **O** ottimizzazione delle misure di radioprotezione;
- **L** limitazione delle dosi individuali.

Per proteggerci dalle radiazioni ionizzanti utilizzate nella diagnostica per immagini (raggi X e gamma) viene utilizzato il piombo. È un elemento con un'elevata densità elettronica, un'elevata stabilità e, inoltre, è molto malleabi-

Figura 11 Capacità penetrante delle tipologie di radiazione ionizzante

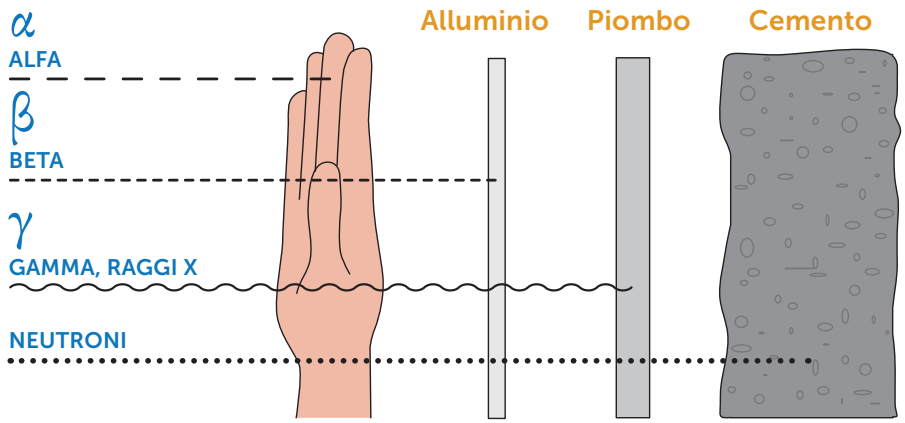


Figura 12 Dispositivi di radioprotezione

le. Grazie a queste caratteristiche è possibile produrre i dispositivi di radioprotezione utilizzati in radiologia [**figura 12**].

Oltre alle protezioni in piombo, ci sono poche regole elementari per proteggersi o limitare l'effetto delle radiazioni, tra le quali:

- allontanarsi dalla sorgente di radiazioni, in quanto l'intensità delle radiazioni diminuisce con la distanza (importante per gli operatori di radiologia);

- interporre uno o più dispositivi di schermatura tra la sorgente e le persone;
- ridurre al minimo la durata di esposizione alle radiazioni.

Le persone professionalmente esposte a radiazioni, anche in settori diversi dalla medicina (ad esempio, attività di volo, scavi sotterranei eccetera), sono dotate di un **dosimetro** personale, grazie al quale viene monitorata, per un dato periodo di tempo, la radiazione rappresentativa della dose efficace al corpo intero. La dose efficace, espressa in Sievert, è un indicatore del rischio biologico: maggiore è la dose, maggiore è il potenziale rischio di danni a livello biologico. Questi numeri rappresentano un metodo di controllo e verifica della sicurezza dei professionisti che lavorano con le radiazioni e devono essere valutati e interpretati periodicamente, anche considerando i limiti di legge vigenti.

METODOLOGIE DIAGNOSTICHE CHE UTILIZZANO RADIAZIONI IONIZZANTI

RADIOGRAFIA CONVENZIONALE

La radiografia convenzionale è la prima metodica di imaging scoperta ed è la più facilmente disponibile. Utilizza i raggi X prodotti dal tubo radiogeno che sono indirizzati verso il paziente. Grazie a un rilevatore e alla successiva elaborazione delle informazioni vengono prodotte le immagini radiografiche. Dalla produzione dei raggi X alla visualizzazione dell'immagine trascorre meno di un secondo.

In genere, la radiografia tradizionale è la metodica di imaging più usata per esaminare gli arti, il torace e, talvolta, la colonna vertebrale e l'addome. Queste aree contengono importanti strutture con densità che differiscono da quelle dei tessuti adiacenti.

Per la diagnosi di quali malattie è utilizzata la radiologia tradizionale?

Ad esempio, la radiologia tradizionale è una metodica di prima scelta per rilevare:

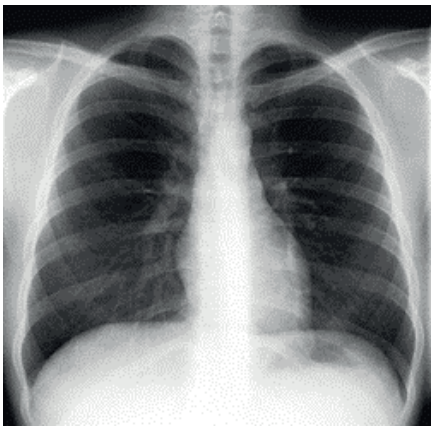
- fratture (le ossa sono più dense dei tessuti molli e dunque la loro struttura può essere facilmente osservata per la ricerca di lesioni);
- polmoniti (l'elevato contrasto fra l'aria presente a livello polmonare, radiologicamente di colore nero, e il liquido, radiologicamente di colore bianco, permette di valutare l'eventuale presenza della patologia;
- occlusione intestinale (si è in grado di valutare la presenza di livelli idro-aerei, costituiti da un accumulo di liquido e gas).

Considerato che le diverse strutture anatomiche sono sovrapposte, è opportuno eseguire almeno due radiografie da diverse angolazioni. Ciò consente di visualizzare meglio la struttura anatomica oggetto della radiografia [**figura 13**].

FLUOROSCOPIA O RADIOSCOPIA

La fluoroscopia (o radioscopia) è una tecnica per ottenere immagini in tempo reale dell'anatomia interna dell'essere umano; per questa metodica si utilizzano i raggi X [**figura 14**]. Consente una rappresentazione dinamica dei processi funzionali del corpo (ad esempio, il flusso sanguigno nei vasi o l'attività digestiva dello stomaco). Un suo importante ambito d'impiego sono gli esami diagnostici e terapeutici come l'angiografia e l'utilizzo in alcuni inter-

Figura 13 Esempio di una radiografia del torace eseguita con il paziente posizionato in due diverse modalità



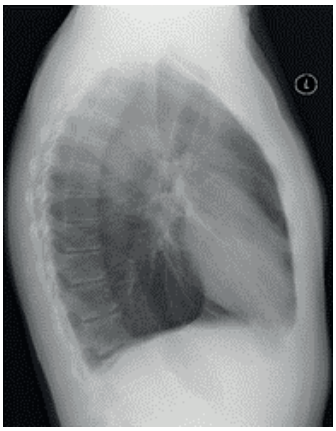


Figura 14 L'angiografo

venti in sala operatoria. In quest'ultimo caso le immagini sono utilizzate per dirigere e posizionare dispositivi all'interno del corpo del paziente.

In sala angiografica, durante gli interventi dei distretti vascolari, vengono impiegati appositi strumenti, quali introduttori, cateteri, fili guida, palloncini e stent [**figura 15**].

La **figura 16** mostra un palloncino utilizzato per la dilatazione delle stenosi (restringimento di un canale, un orifizio, un organo cavo o un vaso) presenti all'interno dei vasi sanguigni. Lo stesso è utilizzato per la dilatazione del tratto dell'arteria femorale superficiale presente nelle immagini precedenti.

TOMOGRAFIA ASSIALE COMPUTERIZZATA (TAC)

La TAC, una tecnologia tra le più importanti nella diagnostica per immagini e con una diffusione sempre maggiore a livello globale, utilizza radiazioni ionizzanti, più precisamente i raggi X. L'invenzione di questa tecnica si deve all'ingegnere inglese Godfrey Hounsfield che realizzò la prima apparecchiatura TAC insieme al fisico sudafricano Allan Cormack presso il Central Research Laboratories della EMI a Hayes nel Regno Unito nel 1967. Le ricerche collegate all'utilizzo di questa metodica di indagine valsero ai due scienziati

Figura 15 Esempi di angiografia dell'arteria femorale sinistra

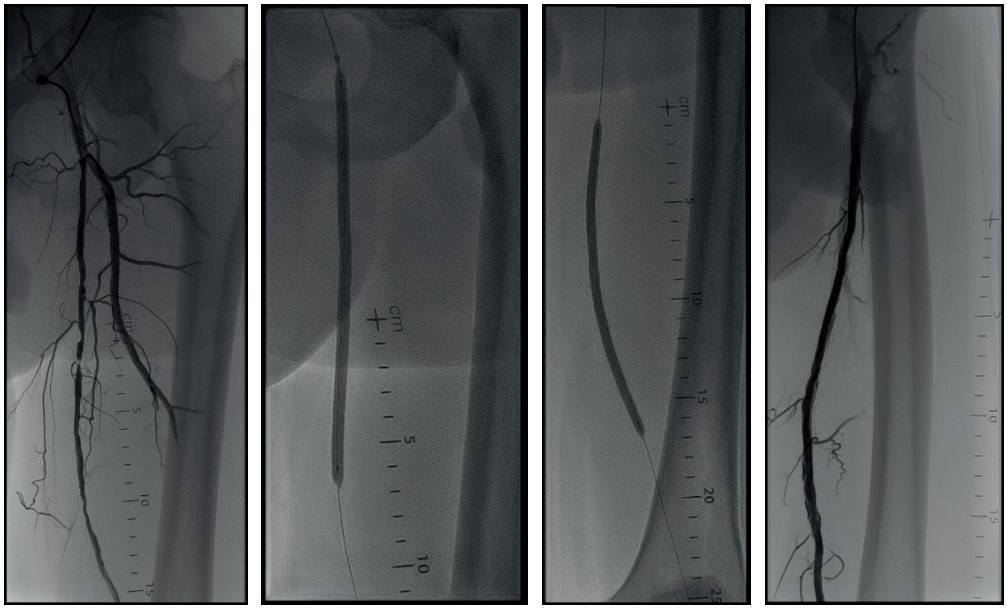
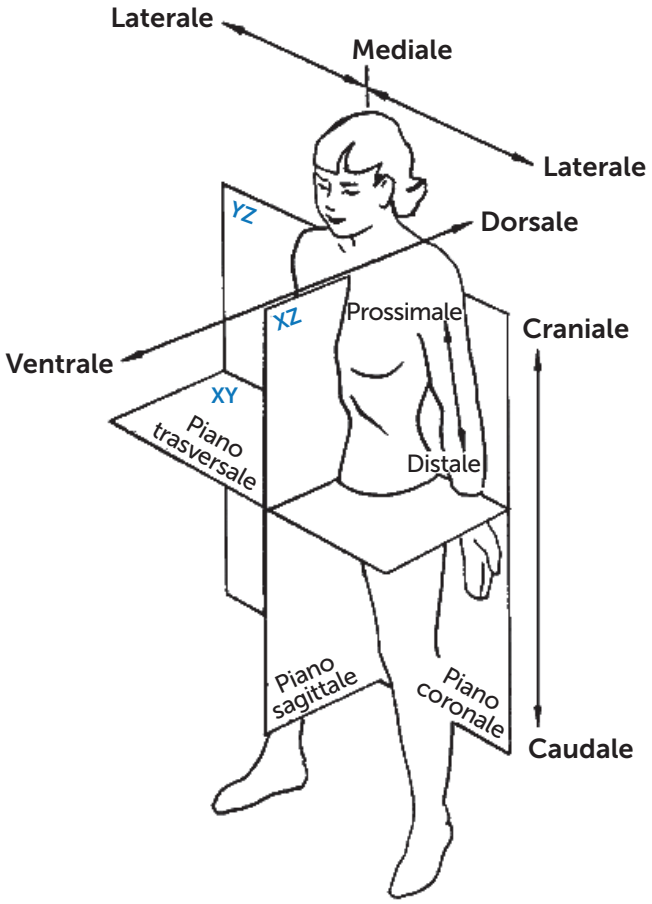


Figura 16 Palloncino utilizzato durante un intervento angiografico

il premio Nobel per la medicina nel 1979, premio che condivisero con Allan McLeod Cormack della Tufts University del Massachusetts, il quale propose indipendentemente dai due una tecnica simile. Il primo tomografo computerizzato commerciale consentiva esclusivamente lo studio delle strutture del cranio e fu installato all'Atkinson Morley Hospital di Londra nel 1971. Questa tecnica diagnostica è in grado di rappresentare il corpo umano in sezioni secondo piani assiali, coronali e sagittali [**figura 17**], consentendo di visualizzare e studiare gli organi e le strutture vascolari per rilevarne eventuali anomalie.

Figura 17 Assi e piani del corpo umano



Grazie all'attenuazione del fascio di raggi X che attraversa il paziente viene evidenziata la differenza di densità dei tessuti posti all'interno del corpo umano, generando, tramite l'utilizzo di potenti computer di calcolo, immagini digitali. L'evoluzione tecnologica, informatica e ingegneristica ha portato a ottenere delle immagini digitali e delle ricostruzioni di maggiore qualità e complessità. Grazie alla TAC oggi è possibile esplorare il corpo umano nella sua totalità.

Le componenti primarie che costituiscono la TAC sono:

- la gantry, una struttura circolare rotante, che contiene il tubo radiogeno e il detettore (rivelatore);
- il lettino;
- la console di comando e i computer di calcolo.

Alla rotazione del tubo-detettore si associa il movimento, a velocità costante, del lettino dove è posizionato il paziente. Questo permette di irradiare esclusivamente la regione anatomica di interesse e di attraversarla in maniera avvolgente dai raggi X [**figura 18**].

Il detettore raccoglie le informazioni che vengono successivamente elaborate da potenti computer in grado di trasformarle in immagini che vengono visualizzate sui monitor posti alla console di comando. Dall'erogazione dei raggi X

Figura 18 Le componenti principali della TAC

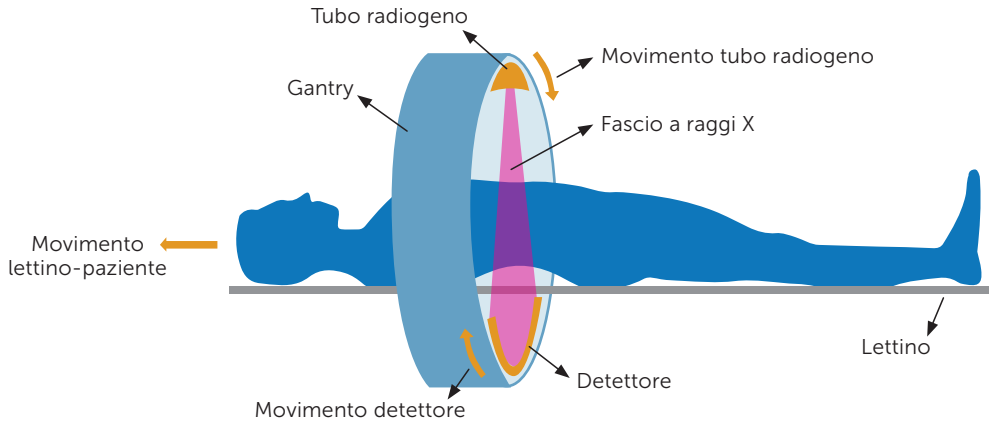
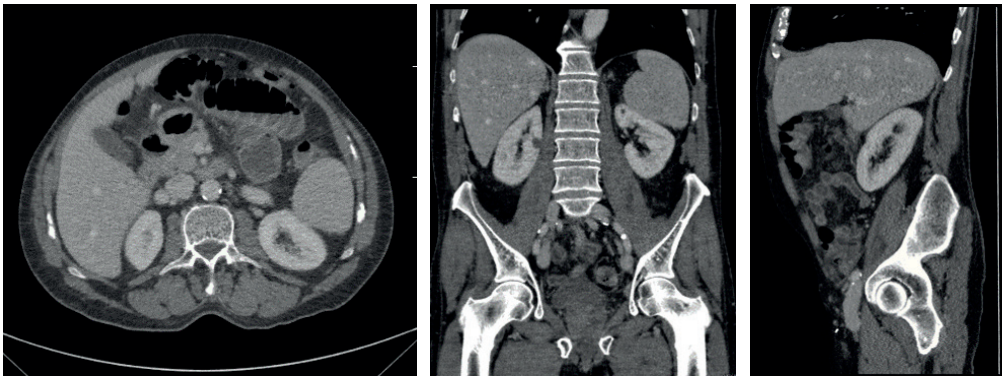


Figura 19 Esempio di TAC dell'addome



Piano assiale | Piano coronale | Piano sagittale

alla visualizzazione delle immagini trascorrono pochi secondi. Le TAC di ultima generazione riescono a produrre centinaia di immagini in una manciata di secondi [**figura 19**].

A cosa serve il liquido di contrasto utilizzato nella TAC?

Per eseguire l'esame TAC talvolta è necessario somministrare un liquido contenente iodio, chiamato **mezzo di contrasto** iodato, per permettere di differenziare arterie, vene, linfonodi e in generale anomalie degli organi. La somministrazione del mezzo di contrasto consente anche di ricostruire i dati acquisiti in immagini tridimensionali della regione irradiata e, in taluni casi, di mappare la funzionalità dell'organo irradiato [**figura 20**].

MAMMOGRAFIA

Questa metodica, utilizzata per l'acquisizione di immagini della mammella femminile (e del tessuto mammario maschile), utilizza i raggi X ed è considerata come una radiografia del seno [**figura 21**]. Le prime mammografie vennero introdotte nel 1930 dal radiologo americano Stafford L. Warren che

Figura 20 Esempio di TAC cerebrale con mezzo di contrasto

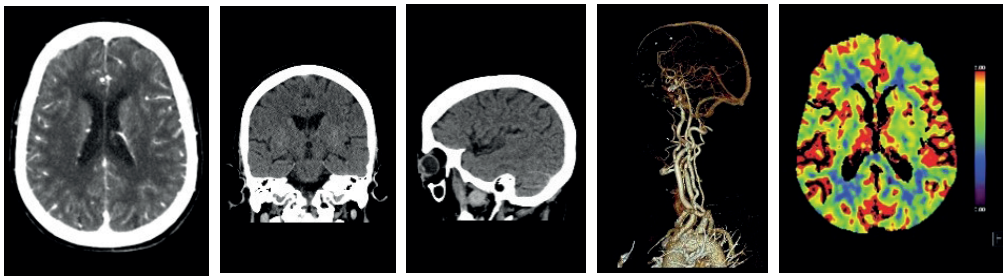
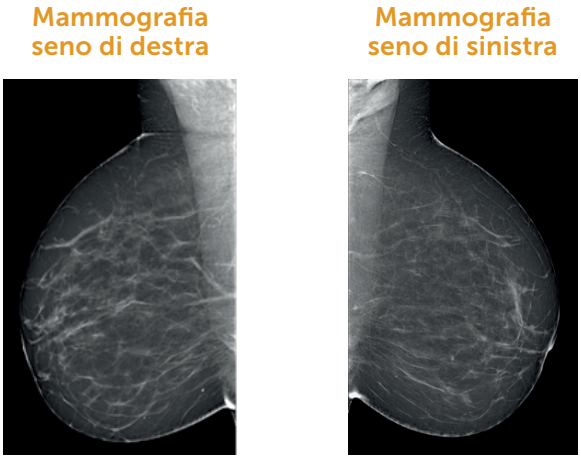


Figura 21 La mammografia



a New York sviluppò tecniche e studi precedentemente condotti, a partire dal 1913, da un chirurgo tedesco, Albert Salomon, che lavorava su campioni di tessuto ottenuti da asportazione di mammelle di donne affette da cancro al seno (mastectomie).

Oggi la mammografia rappresenta l'esame diagnostico per eccellenza e di prima scelta per la ricerca del tumore al seno; in taluni casi viene eseguito a complemento anche un esame ecografico che consente di visualizzare meglio, soprattutto in persone con un seno denso, tutta la struttura anatomica.

Figura 22 Mammografo con tomosintesi

Negli ultimi anni è stata introdotta la **tomosintesi** che permette di ottenere immagini tridimensionali (3D) del seno e consente di ridurre e/o eliminare l'effetto di sovrapposizione dei tessuti tipica delle radiografie. Generalmente, viene eseguita a complemento della mammografia standard [**figura 22**].

METODOLOGIE DIAGNOSTICHE CHE UTILIZZANO RADIAZIONI NON IONIZZANTI

RISONANZA MAGNETICA (RM)

La risonanza magnetica (RM) è una metodica di imaging moderna che produce immagini stratificate di tutte le regioni del corpo umano grazie all'utilizzo di campi magnetici e radiofrequenze. La RM non ha gli stessi effetti delle radiazioni ionizzanti, rientra quindi tra le radiazioni non ionizzanti.

Prima di eseguire un esame in risonanza magnetica viene richiesto al paziente la compilazione di un formulario, fondamentale per capire se tale indagine può essere eseguita. Il forte campo magnetico presente nella risonanza magnetica è in grado di attrarre oggetti di metallo con specifiche proprietà e di alterare la funzionalità di alcuni dispositivi medici. Pertanto, prima di

entrare in risonanza magnetica vengono rilevate informazioni quali per esempio la presenza di pacemaker, defibrillatori, valvole cardiache, clip cerebrali, apparecchi acustici e dentali, impianti cocleari, tatuaggi, piercing, trucco definitivo (make-up), come anche la presenza di malattie quali il diabete o il glaucoma. Se esiste almeno una controindicazione il personale medico-tecnico sospende l'esame valutando caso per caso, e in collaborazione con altre figure sanitarie, la fattibilità all'indagine da parte del paziente. Ogni persona che entra nel locale della risonanza magnetica deve compilare tale modulo.

Perché è necessario non avere nessun oggetto di metallo durante l'esecuzione di una RM?

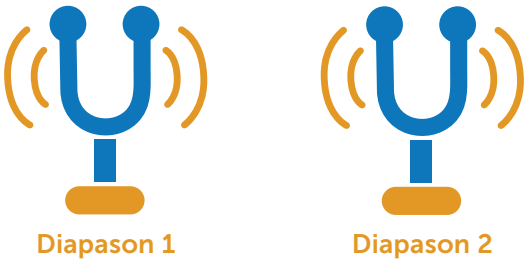
I principi fisici e matematici che sono alla base di questa tecnica risultano estremamente complessi.

Iniziamo a chiederci, che cos'è una risonanza? Si definisce risonanza uno scambio di energia tra due sistemi affini.

Ad esempio, se prendiamo due diapason che emettono la stessa nota (vibrano alla stessa frequenza) e facciamo vibrare uno dei due (diapason 1) anche il secondo entrerà in vibrazione (diapason 2). L'affinità tra i due sistemi è detta frequenza di risonanza [**figura 23**].

La risonanza magnetica utilizzata per la diagnostica per immagini funziona con lo stesso principio del diapason. In pratica, una volta posizionato il paziente all'interno del macchinario, la presenza del grande campo magnetico,

Figura 23 Il fenomeno della risonanza



una sorta di grossa calamita denominata **magnete**, e la successiva applicazione degli impulsi a radiofrequenza, prodotti da antenne denominate **bobine**, permettono di produrre le immagini diagnostiche.

La RM sfrutta le proprietà magnetiche del corpo per produrre immagini dettagliate di qualsiasi sua parte. Utilizza, in particolare, i nuclei di idrogeno (composti da un solo protone) che sono abbondanti nell'acqua e nel grasso. I nuclei dell'idrogeno sono delle particelle di materia elettricamente cariche e la rotazione su sé stessi ne determina il comportamento, come se fossero dei piccoli magneti; il loro orientamento è disposto in maniera casuale. Se mettiamo il corpo del paziente all'interno del campo magnetico della macchina i nuclei di idrogeno si orienteranno in favore o contro il campo stesso.

Questa situazione è stabile e se vogliamo indurre un segnale di risonanza dobbiamo disturbarla. Lo facciamo utilizzando un'opportuna onda radio che crea una nuova situazione di stabilità fino a quando non interrompiamo l'emissione radio. Quando il segnale viene interrotto, i nuclei d'idrogeno rilasciano l'energia accumulata nuovamente come onde elettromagnetiche, le cui caratteristiche dipendono dall'ambiente circostante. Si ottiene così un segnale di risonanza di ritorno che possiamo captare con un'antenna. Il segnale ottenuto rivela le caratteristiche del tessuto analizzato. Utilizzando appositi strumenti matematici e potenti computer possiamo ora trasformare il segnale elettrico in immagine [**figura 24**].

Figura 24 La risonanza magnetica

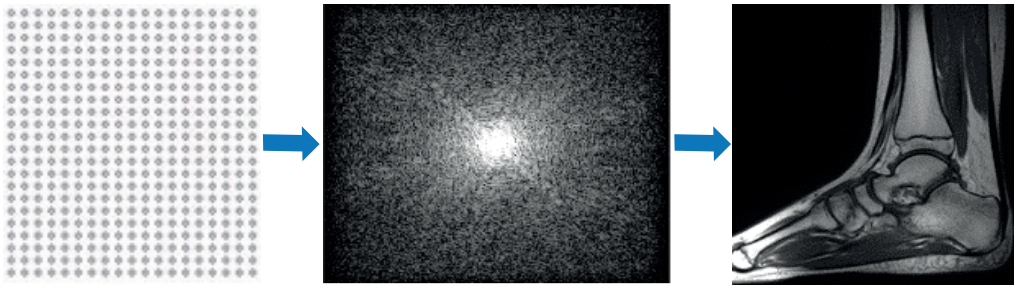
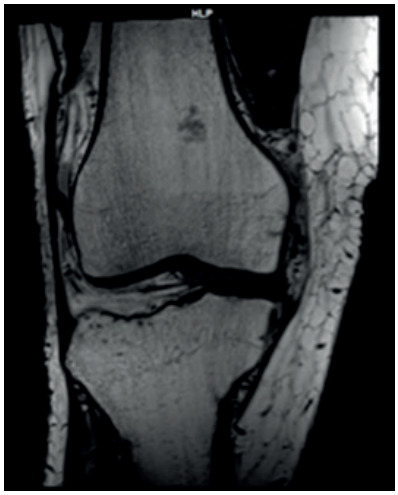


Figura 25 Esempi di risonanza magnetica



Risonanza magnetica del ginocchio, piano coronale

Risonanza magnetica della colonna lombare, piano sagittale

La combinazione tra le energie prodotte dal campo magnetico e gli impulsi a radiofrequenza generano i tipici rumori che contraddistinguono l'RM.

Questa tecnica è particolarmente adatta per la rappresentazione di organi e tessuti ricchi di liquidi e si applica correntemente negli esami del sistema nervoso (cervello, midollo spinale), in quelli degli organi interni, delle articolazioni e dei vasi sanguigni [**figura 25**].

CAMPI MAGNETICI A CONFRONTO

Secondo il Sistema Internazionale, l'unità di misura dell'induzione magnetica, ovvero della densità di flusso magnetico, è il **tesla** (T). Tuttavia, essendo questa unità di misura molto grande, utile per indicare campi magnetici enormi, come ad esempio quelli delle stelle, viene spesso ancora utilizzata l'unità del vecchio sistema, il **gauss** (G). Un tesla equivale a 10.000 gauss. Nella **tabella 1** sono riportati, a titolo di esempio, alcuni valori di campi magnetici.

Il campo magnetico terrestre varia a seconda dei luoghi del nostro pianeta ed è compreso tra 0,4 e 0,6 gauss [**figura 26**].

Tabella 1 Ordini di grandezza di alcuni campi magnetici

10^{-9} -10^{-8} gauss	Campo magnetico del cervello umano
10^{-6} -10^{-3} gauss	Campo magnetico delle nubi molecolari
0,25-0,60 gauss	Campo magnetico della Terra sulla sua superficie
25 gauss	Campo magnetico della Terra nel suo nucleo
50 gauss	Magnete per frigorifero
100 gauss	Calamita
1.500 gauss	Interno di una macchia solare
10.000 a 13.000 gauss	Rimanenza di un magnete al neodimio (NIB)
16.000 a 22.000 gauss	Saturazione di leghe di ferro ad alta permeabilità utilizzate nei trasformatori
3.000-70.000 gauss	Apparecchio per la risonanza magnetica
10^{12} -10^{13} gauss	Superficie di una stella di neutroni
4×10^{13} gauss	Soglia dell'elettrodinamica quantistica
10^{15} gauss	Campo magnetico di alcune magnetar di nuova formazione
10^{17} gauss	Misura massima di magnetismo di una stella di neutroni

Generalmente le risonanze magnetiche che vengono utilizzate per l'applicazione sull'essere umano sfruttano campi magnetici fino a 30.000 gauss, che corrispondono a 3 tesla.

Il campo magnetico di una risonanza 3 tesla equivale circa a 60.000 volte il campo magnetico terrestre. Proprio per l'elevato campo magnetico presente all'interno di tale metodica bisogna privarsi di oggetti di metallo che verrebbero attratti come proiettili all'interno del macchinario. È inoltre importante valutare sempre lo stato di salute del paziente tramite la compilazione di un questionario di sicurezza.

Figura 26 Campi magnetici

0,4-0,6 gauss

30.000 gauss

ECOGRAFIA

L'ecografia (o sonografia) è un'indagine diagnostica non invasiva che non utilizza radiazioni ionizzanti ma **ultrasuoni**, ovvero onde sonore a elevata frequenza, con valori che superano i 20.000 Hz, non udibili dall'orecchio umano, che si propagano all'interno del corpo. Il funzionamento dell'ecografia poggia sullo stesso principio di quando ci si trova nei punti più alti di una vallata e si grida forte in direzione di una parete: si assiste al fenomeno dell'eco: l'onda sonora che abbiamo emesso è riflessa dalla parete stessa e fa ritorno alle nostre orecchie.

Il procedimento di acquisizione delle immagini si avvale del riflesso di onde sonore generate da apposite sonde e la successiva rilevazione di echi provenienti dalla regione esaminata sulle sonde stesse [**figura 27**]. L'immagine che si forma sul monitor rappresenta una piccola sezione della porzione di corpo su cui in quel momento è appoggiata la sonda [**figura 28**].

L'utilizzo degli ultrasuoni non comporta alcun tipo di rischio ed è pertanto una procedura che non presenta controindicazioni. Proprio per questo motivo può essere effettuata in ogni fase della vita di una persona. È prassi comune, ad esempio, eseguire le ecografie in gravidanza per controllare la crescita del feto. Oltre

Perché l'esecuzione di un'ecografia non presenta controindicazioni?

Figura 27 Principio di funzionamento dell'ecografia

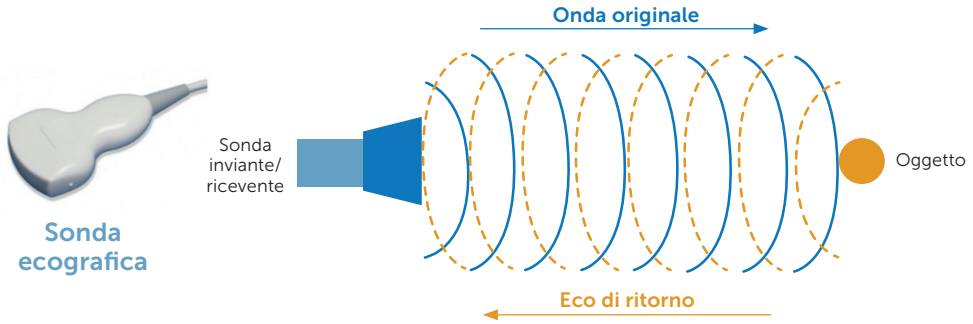


Figura 28 Esempio di immagine ecografica

Ecografia del rene sinistro

a questo, è un metodo che produce immagini in tempo reale e anche i macchinari possono essere facilmente resi portatili.

Le regioni anatomiche principalmente indagate tramite tale metodica sono costituite dai tessuti morbidi:

- l'addome;
- le vie urinarie;
- la tiroide;
- il cuore e i vasi sanguigni;
- i tendini, i muscoli e le articolazioni.

UNO SGUARDO ALLA MEDICINA NUCLEARE

La medicina nucleare è una branca della medicina che utilizza sostanze radioattive, denominate **radiofarmaci**, composte da una parte radioattiva e da una parte farmacologicamente attiva. Possono essere utilizzati sia a scopo diagnostico sia a scopo terapeutico.

Nello specifico, il radiofarmaco è composto da un carrier (vettore), ossia una molecola con funzioni biologiche di trasporto, e il nuclide radioattivo legato a esso. Il carrier consente di veicolare il radionuclide fino a raggiungere l'organo o l'apparato di interesse, mentre il nuclide radioattivo permette, attraverso l'uso di una tecnologia diagnostica appropriata, di seguire la distribuzione e il deposito, nell'organismo, del radiofarmaco.

L'impiego di apparecchiature specifiche, quali la **tomografia a emissione di positroni** (PET/CT), producono immagini ad alta risoluzione costituite dalla fusione di immagini molecolari (acquisite tramite la PET) con immagini radiologiche ottenute con la tecnica tomografica (acquisite tramite la CT annessa alla PET) [**figura 29**].

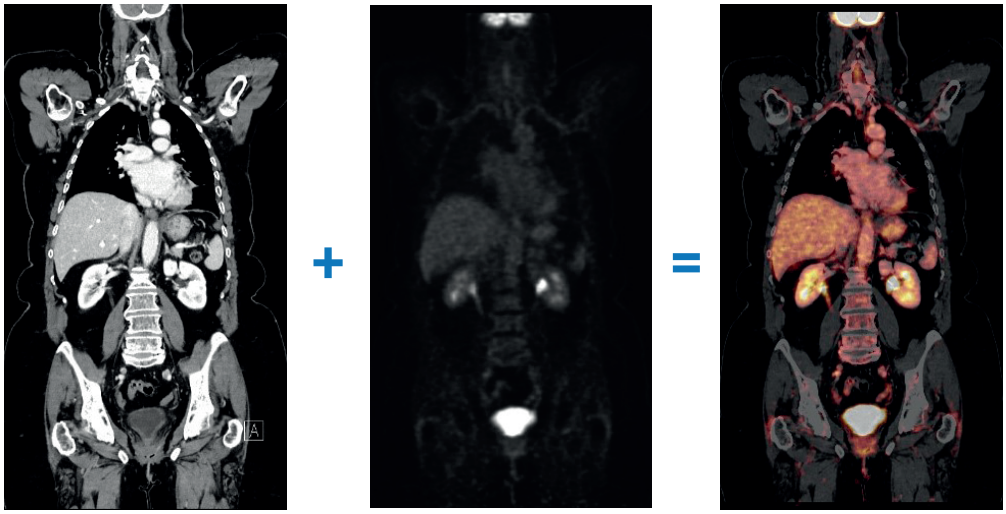
I radiofarmaci più utilizzati e diffusi in medicina nucleare sono:

- 18F-fluorodesossiglucosio (FDG);
- 18F-PSMA (acronimo di "antigene di membrana specifico della prostata");
- 18F-fluoroetiltirosina (FET);
- 68Ga-peptidi (gallio 68).

Le applicazioni cliniche principali interessano campi quali l'oncologia, la cardiologia, la neurologia e la reumatologia.

In campo oncologico, l'indagine permette di valutare le caratteristiche morfologiche, strutturali e funzionali di molte patologie tumorali. Inoltre, consente di valutare la risposta dei pazienti alle terapie e permette di ottenere informazioni utili per la prognosi e l'aggressività biologica del tumore.

Figura 29 Immagini CT, PET e fusione in PET/CT, acquisite dopo somministrazione del radiofarmaco 18F-fluorodesossiglucosio (FDG)



CAMERA DI ANGER O GAMMA CAMERA

La tecnologia maggiormente diffusa nella medicina nucleare è la camera di Anger, o gamma camera. Il primo prototipo fu ideato dall'ingegnere e biofisico Hal Oscar Anger nel 1957 presso i laboratori dell'University of California di Berkeley.

Viene utilizzata per l'acquisizione di immagini scintigrafiche statiche, dinamiche e tomografiche. Grazie alla somministrazione del radionuclide all'interno del paziente, è possibile acquisire immagini rappresentative della sua distribuzione e del suo deposito all'interno dell'organismo. La gamma camera non emette quindi radiazioni, ma si limita a rilevarle. Il sistema di rilevazione alla base di tale tecnologia è in grado di eseguire la tomografia a emissione di fotone singolo (SPECT). I radionuclidi più utilizzati nella diagnostica medico-nucleare, per le loro caratteristiche fisiche e dosimetriche nonché per il loro facile approvvigionamento e per il basso costo, sono il tecnezio-99m, lo iodio-123 e l'indio-111 [**figura 30**].

Figura 30 Scintigrafia ossea total body eseguita con tecnezio-99m

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Siamo giunti al termine del percorso nella diagnostica per immagini in radiologia attraversando più di un secolo di evoluzione tecnologica, informatica, ingegneristica e biomedica. Siamo riusciti a cogliere la complessità del mondo legato alla diagnostica per immagini e la varietà di metodiche che ci permettono di valutare al meglio ogni struttura anatomica del corpo umano. La diagnostica per immagini è dunque oggi uno strumento molto potente nelle mani del medico e permette – attraverso un lavoro di team che coinvolge tecnici di radiologia, medici radiologi, diverse altre figure sanitarie e ingegneri – di diagnosticare, monitorare e curare un gran numero di malattie.

Abbiamo anche visto come le radiazioni, ionizzanti e non, alla base delle tecniche diagnostiche che abbiamo trattato, sono presenti nel nostro ambiente,

sia frutto della natura (radioattività naturale, campo magnetico terrestre) che di altre tecnologie antropiche, come la radio, i forni a microonde, le lampade e i vecchi televisori a tubo catodico. Quando ragioniamo in termini diagnostici e ci riferiamo a radiazioni ionizzanti dobbiamo sempre tenere in considerazione la pericolosità di queste tecniche e prendere le opportune precauzioni per poterne sfruttare i vantaggi limitandone, nel contempo, gli effetti indesiderati.

La continua evoluzione della diagnostica per immagini ci proietta con lo sguardo verso il futuro, dove le nuove tecnologie e sistemi di analisi sempre più avanzati saranno maggiormente presenti in campo sanitario.

Una nuova frontiera della medicina è rappresentata, ad esempio, dalla **radiomica**, l'applicazione cioè dell'intelligenza artificiale alla diagnostica per immagini: le immagini ottenute da TAC, RM, PET vengono convertite in dati numerici che sono analizzati, insieme ad altri dati, da potenti strumenti di calcolo. Ciò consente di avere informazioni utili per l'individuazione dei geni che possono predisporre l'insorgenza di un tumore, sull'aggressività di una malattia già in atto, sulla diagnosi, terapia, prognosi e risposta del paziente alle cure.

L'evoluzione della tecnologia nella diagnostica per immagini la si deve anche al lavoro che viene svolto presso i migliori centri di ricerca del mondo. Un esempio è la tecnologia Medipix, sviluppata presso il CERN di Ginevra, che trova applicazione in alcune TAC presenti sul mercato. Questa tecnologia permette di discriminare e di classificare le biomolecole presenti all'interno della regione anatomica studiata, aiutando gli operatori sanitari a comprendere meglio la struttura di eventuali anomalie.

La sfida futura nell'imaging diagnostico è, in conclusione, riuscire a integrare tutti i dati del paziente, fornendo così delle immagini che vengano successivamente nutrite da altre informazioni (anamnesi, contesto culturale, dati di laboratorio eccetera), in un'ottica di medicina personalizzata, o di precisione.

Una caduta a lieto fine

PARTE SECONDA

Testi

A cura degli alunni della classe 3B della Scuola Media Acquarossa:

Janis Bruschetti
Clara Beatriz Castè
Chiara Cavargna
Clarissa Degiorgi
Giorgia Delfoc
Samuele Ferrari
Timoteo Lucchini
Valentina Maroni
Clarissa Martinoli
Diana Morosi
Nathan Ochsner
Manuele Oncelli
Bruno Pedretti
Ana Luisa Pinto Paralta
Alessia Poncioni
Vito Ragazzi
Gioele Ratti
Edgard Solari
Owen Taddei
Luca Tonelli
Tristan Vanazzi

Con il coordinamento dei professori:

Alessandro Borrello (docente di Scienze naturali)
Teresa La Scala (docente di Italiano)

Scuola Media Acquarossa
Via alle scuole 10 - 6716 Acquarossa
Ticino - Svizzera
https://acquarossa.sm.edu.ti.ch/
ecs-sm.acquarossa@edu.ti.ch
Direttore: Stefano Imelli

Disegni

Realizzazione, per la Scuola Romana dei Fumetti, di Alessandro Telve.

UNA CADUTA A LIETO FINE

"MI CHIAMO ***NICOLE*** E APPARTENGO ALLA SETTIMA GENERAZIONE DEGLI ***ALLEX***. I CIRCENSI PIÙ FAMOSI DEL ***TICINO***..."

"OGGI COMINCIAMO UNA SERIE DI SPETTACOLI AD ***ACQUAROSSA***, UNA SPLENDIDA VALLATA RACCHIUSA TRA IL FIUME ***BRENNO*** E IL ***MONTE SOSTO***. GIÀ DA IERI CI SIAMO TRASFERITI QUI CON IL SERRAGLIO..."

"...HO DORMITO BENE QUESTA NOTTE, NEL SILENZIO DELLA NATURA. E STAMATTINA MI HANNO SVEGLIATA I CINGUETTII DEGLI UCCELLINI E UN RAGGIO DI SOLE CHE SI È POSATO SUL MIO CUSCINO..."

"I MIEI GENITORI DORMONO ANCORA, IN EFFETTI È MOLTO PRESTO. MA IO MI SENTO RIPOSATA..."
ALLEX
"...VOGLIO USCIRE SUBITO, LO SCENARIO QUI È MERAVIGLIOSO..."
"...IL NOSTRO TENDONE A STRISCE BIANCHE E ROSSE SPICCA NEL VERDE SMERALDINO DEL PRATO, VEGLIATO DAL MONTE SOSTO CHE SEMBRA UN NONNO BUONO..."
"CHE TRANQUILLITÀ... OGGI NE HO PROPRIO BISOGNO!"
IIIIHIIIHH...

"...LUI È IL MIO CAVALLO... È UNO SPLENDIDO ESEMPLARE **CATALANO**, CON IL MANTO BIANCO E QUALCHE PUNTINO NERO..."

CIAO, **BERILLO**!

"...I SUOI OCCHI QUASI ROSSI SEMBRANO PIETRE PREZIOSE... ECCO PERCHÉ SI CHIAMA COSÌ!"

"TORNO NELLA ROULOTTE. I MIEI SI SONO SVEGLIATI E HANNO PREPARATO LA COLAZIONE..."

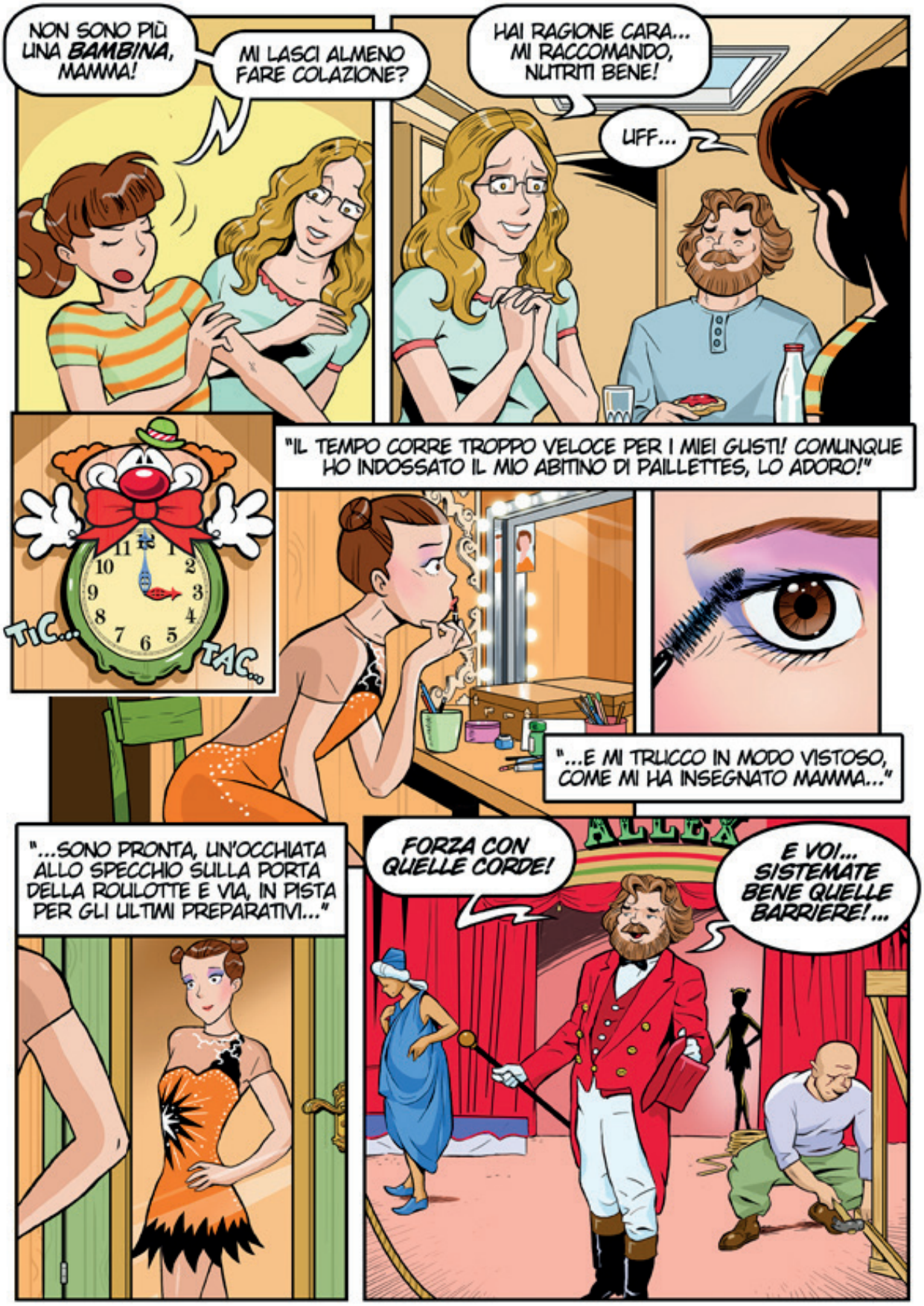
BUONGIORNO MAMMA, BUONGIORNO PAPÀ!

SEI CADUTA DAL LETTO PER CASO?

TU HAI SEMPRE VOGLIA DI SCHERZARE, PAPÀ!

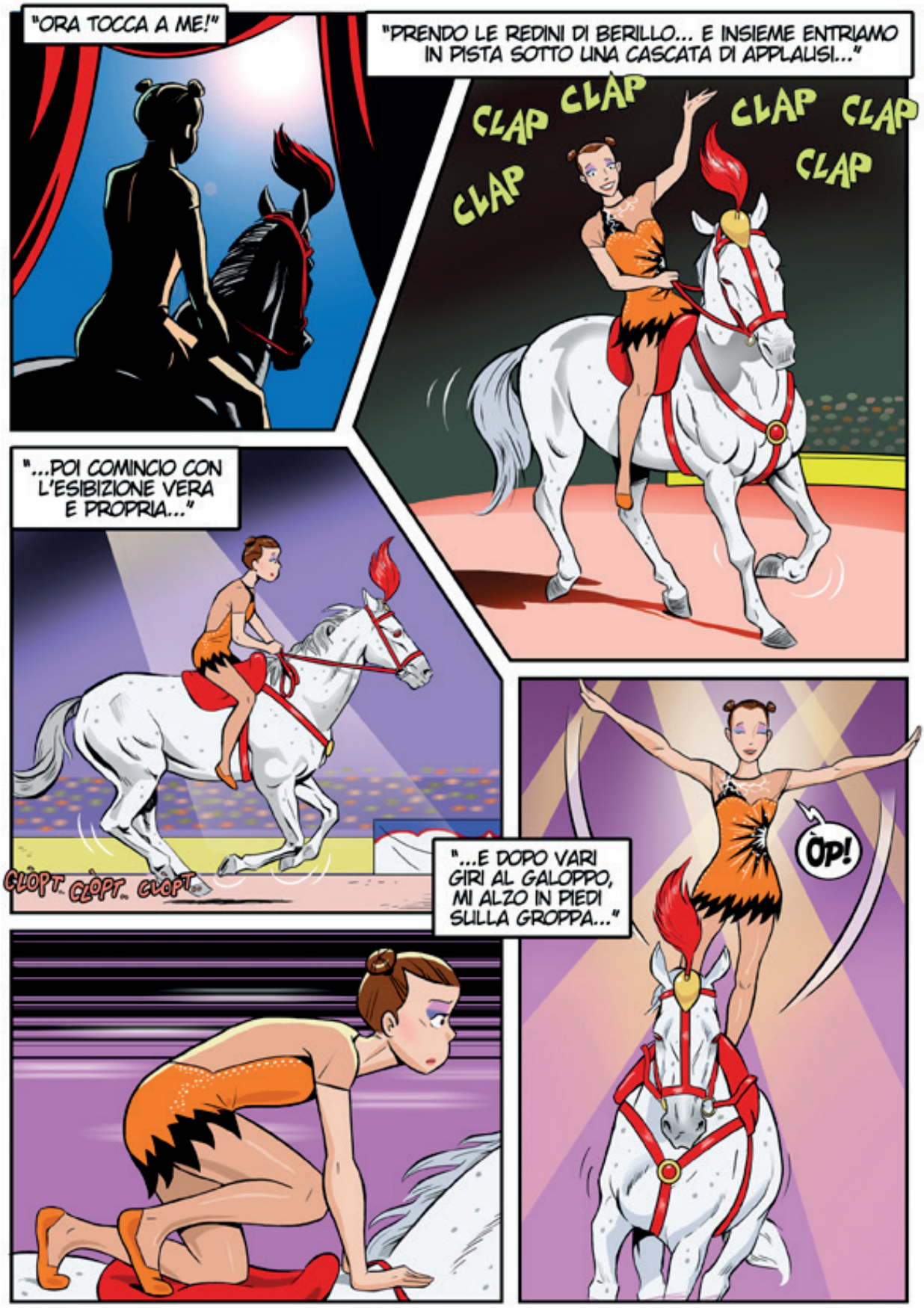
IO INVECE SONO UN PO' IN ANSIA, CONFESSO...

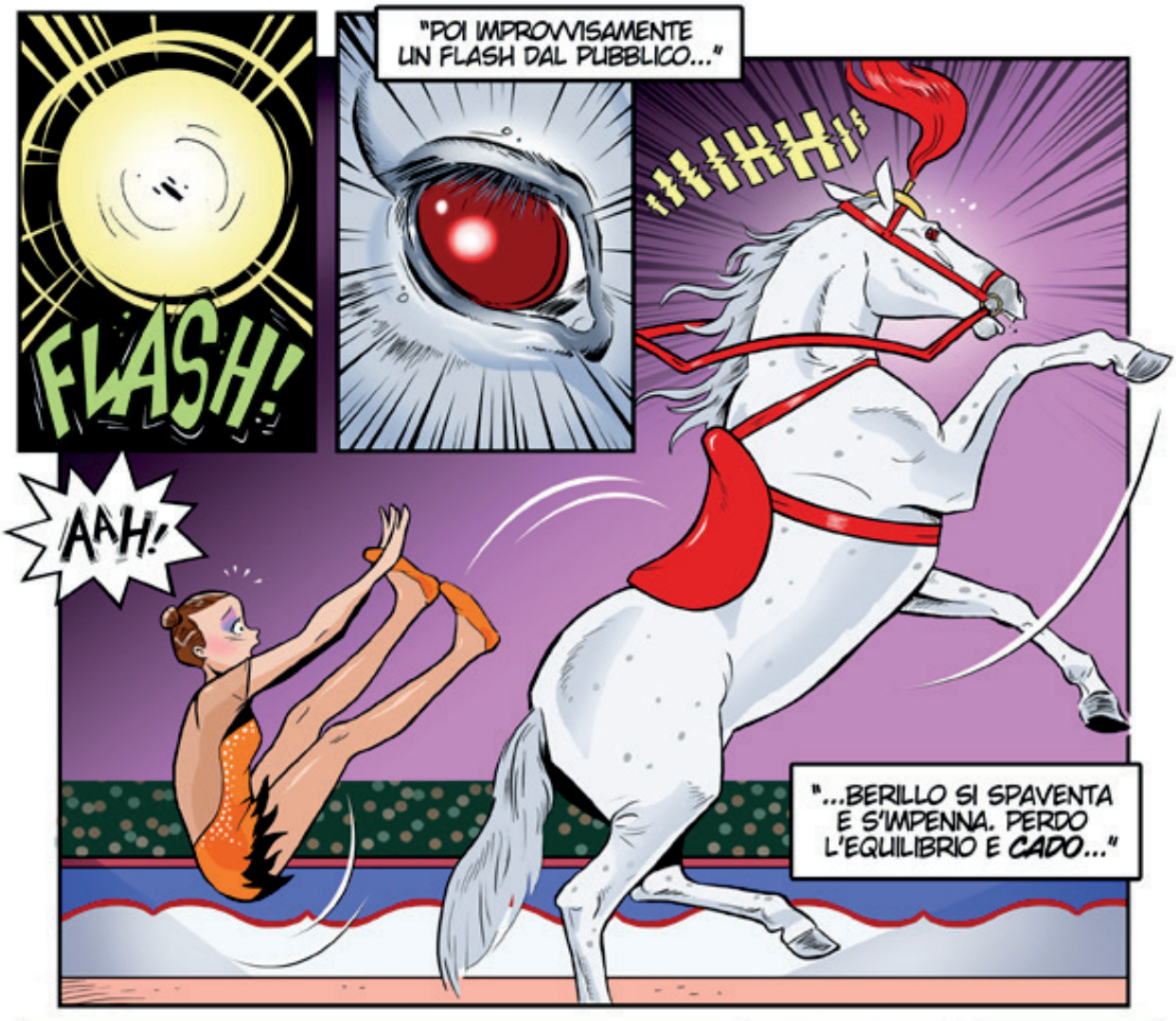
QUESTA SERA È IL **DEBUTTO** DELLA MIA **BAMBINA**!

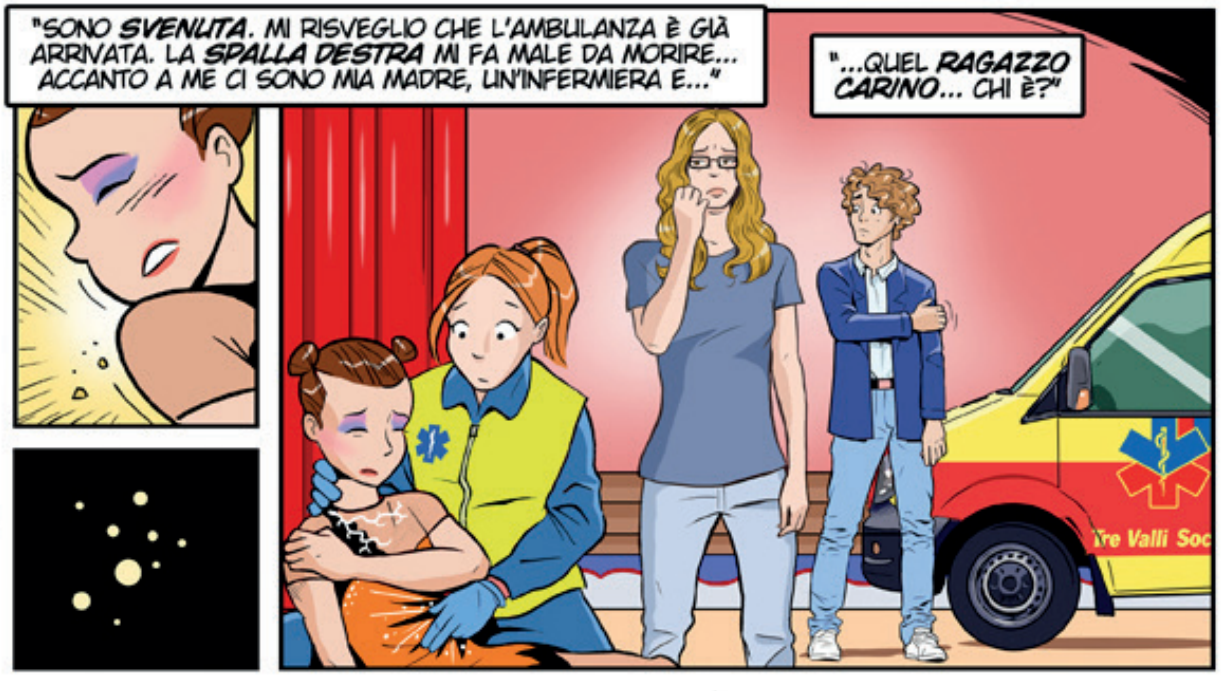

NON SONO PIÙ UNA BAMBINA, MAMMA!
MI LASCI ALMENO FARE COLAZIONE?
HAI RAGIONE CARA... MI RACCOMANDO, NUTRITI BENE!
UFF...
TIC...
TAC...
"IL TEMPO CORRE TROPPO VELOCE PER I MIEI GUSTI! COMUNQUE HO INDOSSATO IL MIO ABITINO DI PAILLETTES, LO ADORO!"
"...E MI TRUCCO IN MODO VISTOSO, COME MI HA INSEGNATO MAMMA..."
"...SONO PRONTA, UN'OCCHIATA ALLO SPECCHIO SULLA PORTA DELLA ROULOTTE E VIA, IN PISTA PER GLI ULTIMI PREPARATIVI..."
FORZA CON QUELLE CORDE!
E VOI... SISTEMATE BENE QUELLE BARRIERE!...

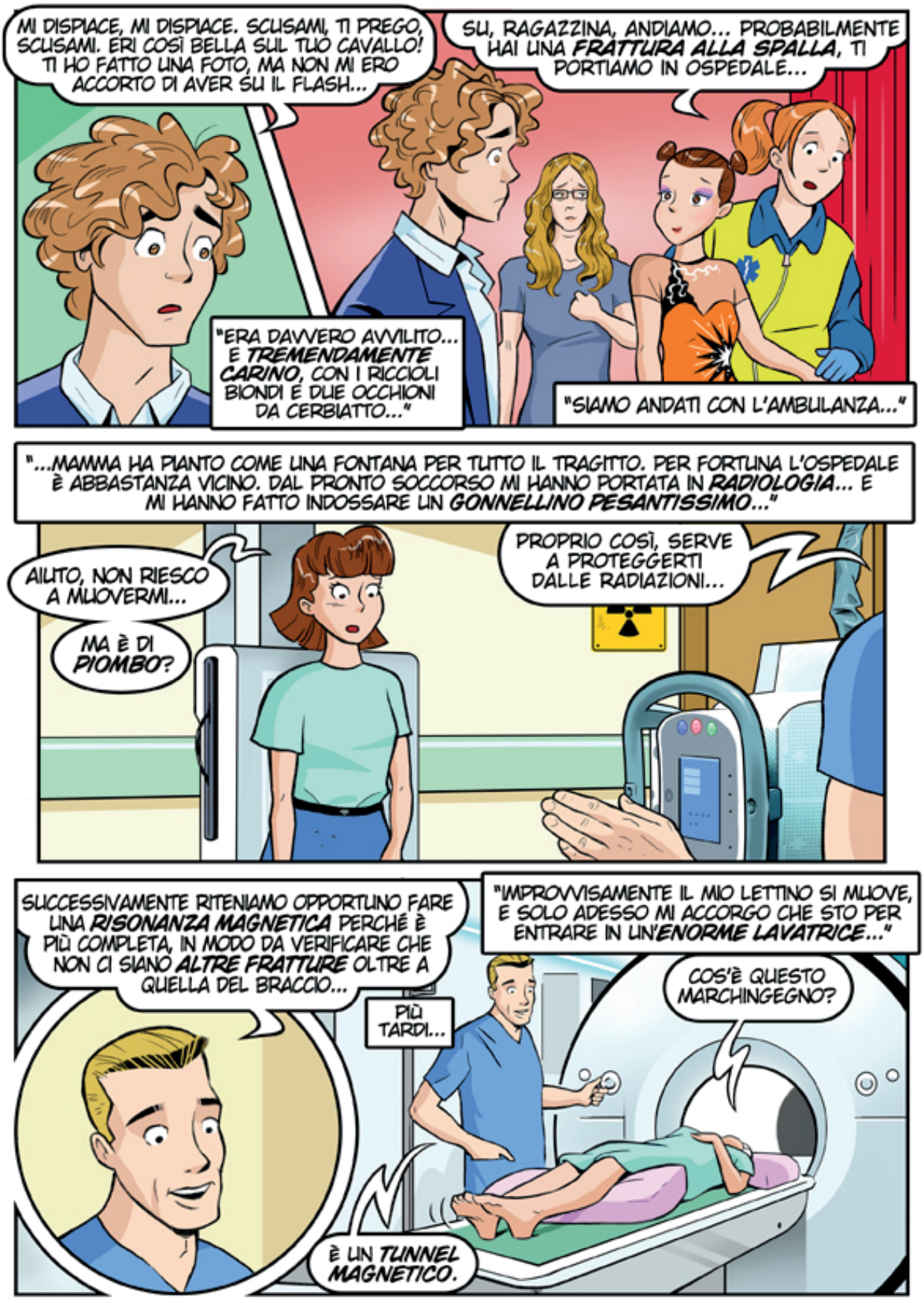
BENE, BERILLO È GIÀ PRONTO...
FORZA, SBRIGHIAMOCI!
È TUTTO PRONTO, TRA POCO SI VA IN SCENA!
"FUORI C'È UNA FILA LUNGHISSIMA DI SPETTATORI..."
"...L'ANSIA È ALLE STELLE..."
E' SEVERAMENTE VIETATO L'USO DEI FLASH
CAROLINA, MI TREMANO LE GAMBE PER L'EMOZIONE...

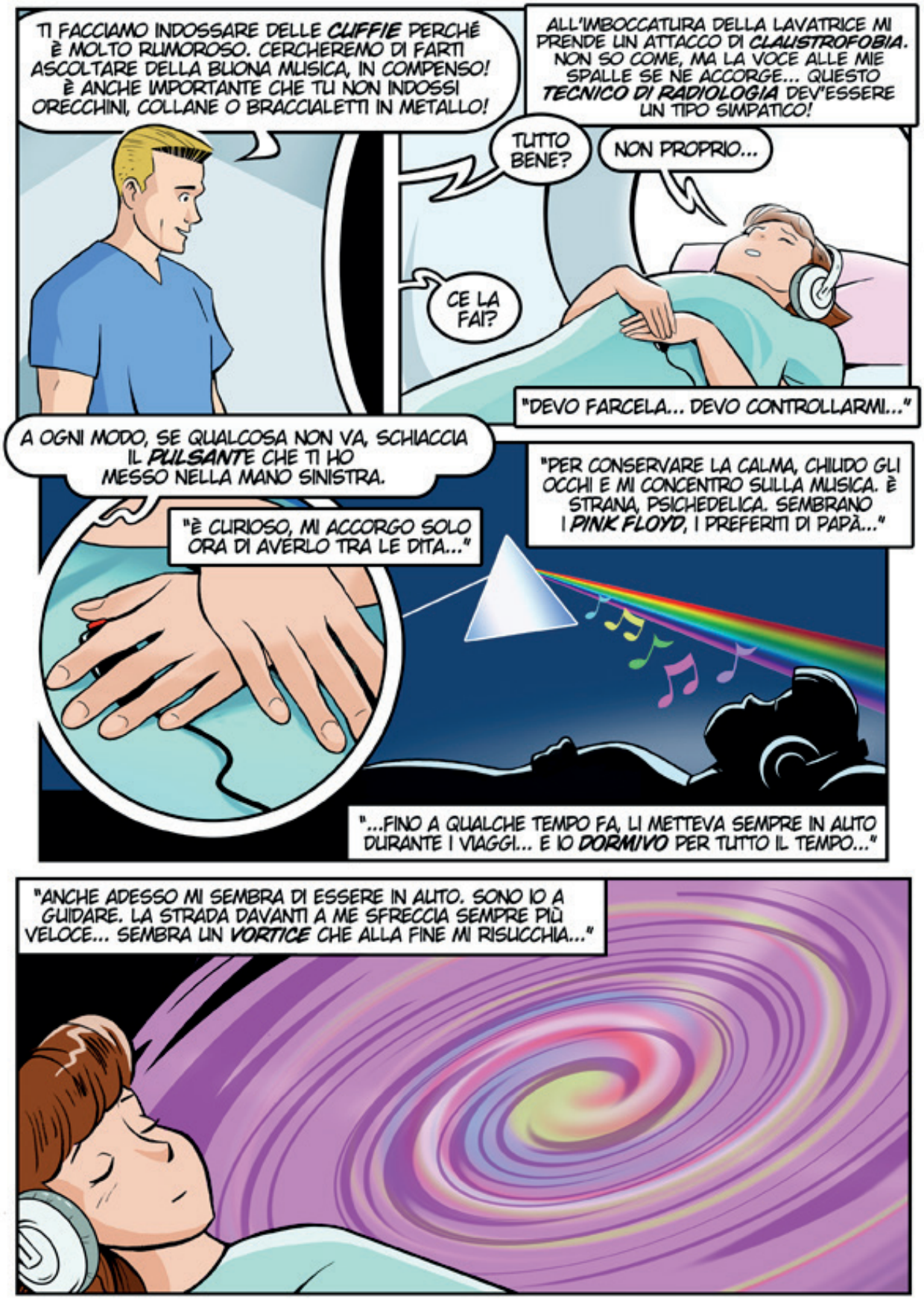
TRANQUILLA... SEI BRAVISSIMA, ANDRÀ TUTTO BENE!
HAI RAGIONE, MI SONO ESERCITATA TANTO, NON C'È NULLA DI CUI PREOCCUPARSI...
"LO SPETTACOLO È INIZIATO ALLA GRANDE CON I CLOWN..."
CLAP...
CLAP...
CLAP...
CLAP...
CLAP...
"...POI I TRAPEZISTI..."
"...I GIOCOLIERI..."
"...E CAROLINA CHE INCANTA TUTTI CON IL SUO CORPO SNODABILE..."

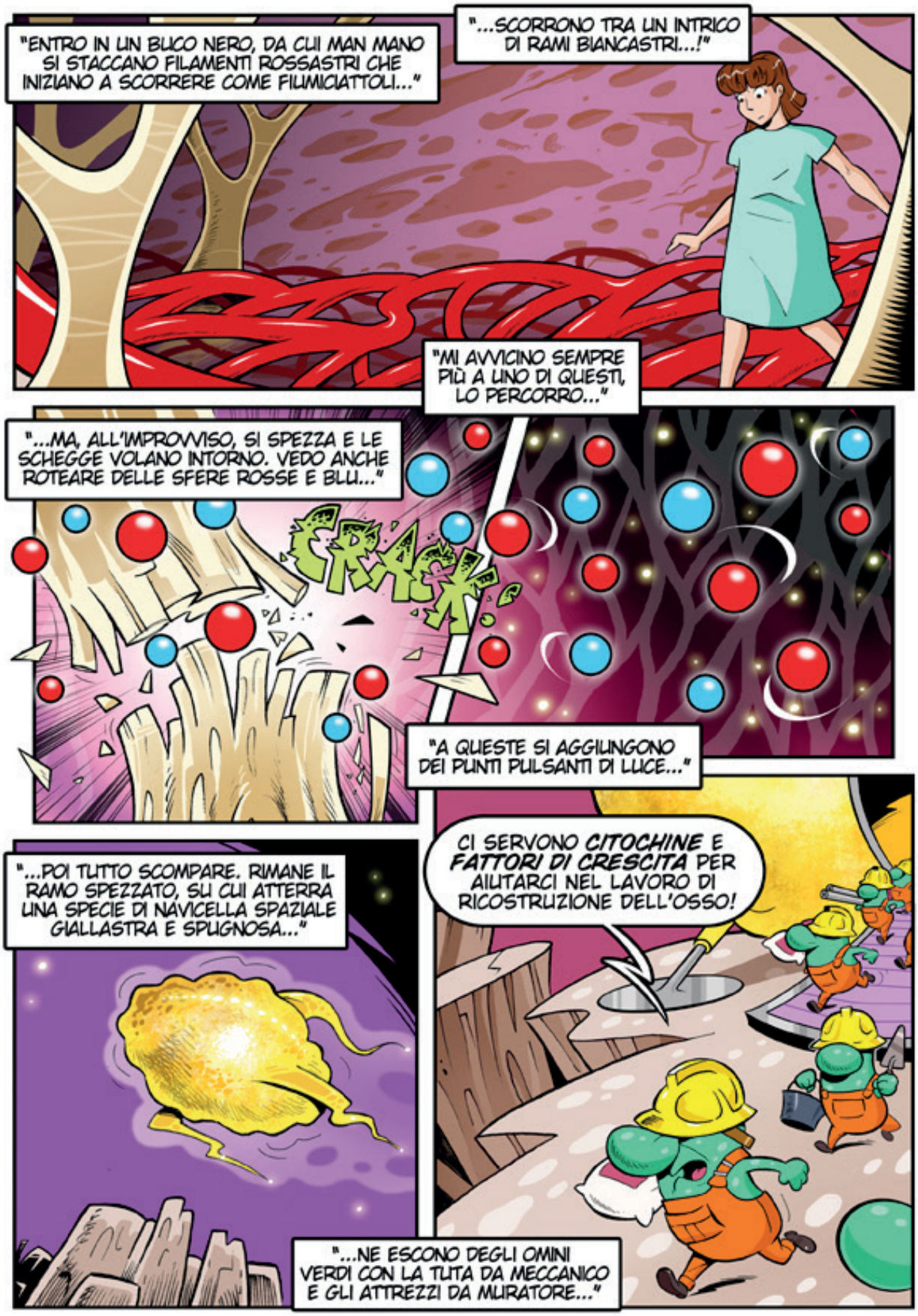

"ORA TOCCA A ME!"
"PRENDO LE REDINI DI BERILLO... E INSIEME ENTRIAMO IN PISTA SOTTO UNA CASCATA DI APPLAUSI..."
CLAP CLAP CLAP CLAP CLAP CLAP
"...POI COMINCIO CON L'ESIBIZIONE VERA E PROPRIA..."
CLOPT CLOPT CLOPT
"...E DOPO VARI GIRI AL GALOPPO, MI ALZO IN PIEDI SULLA GROPPA..."
OP!

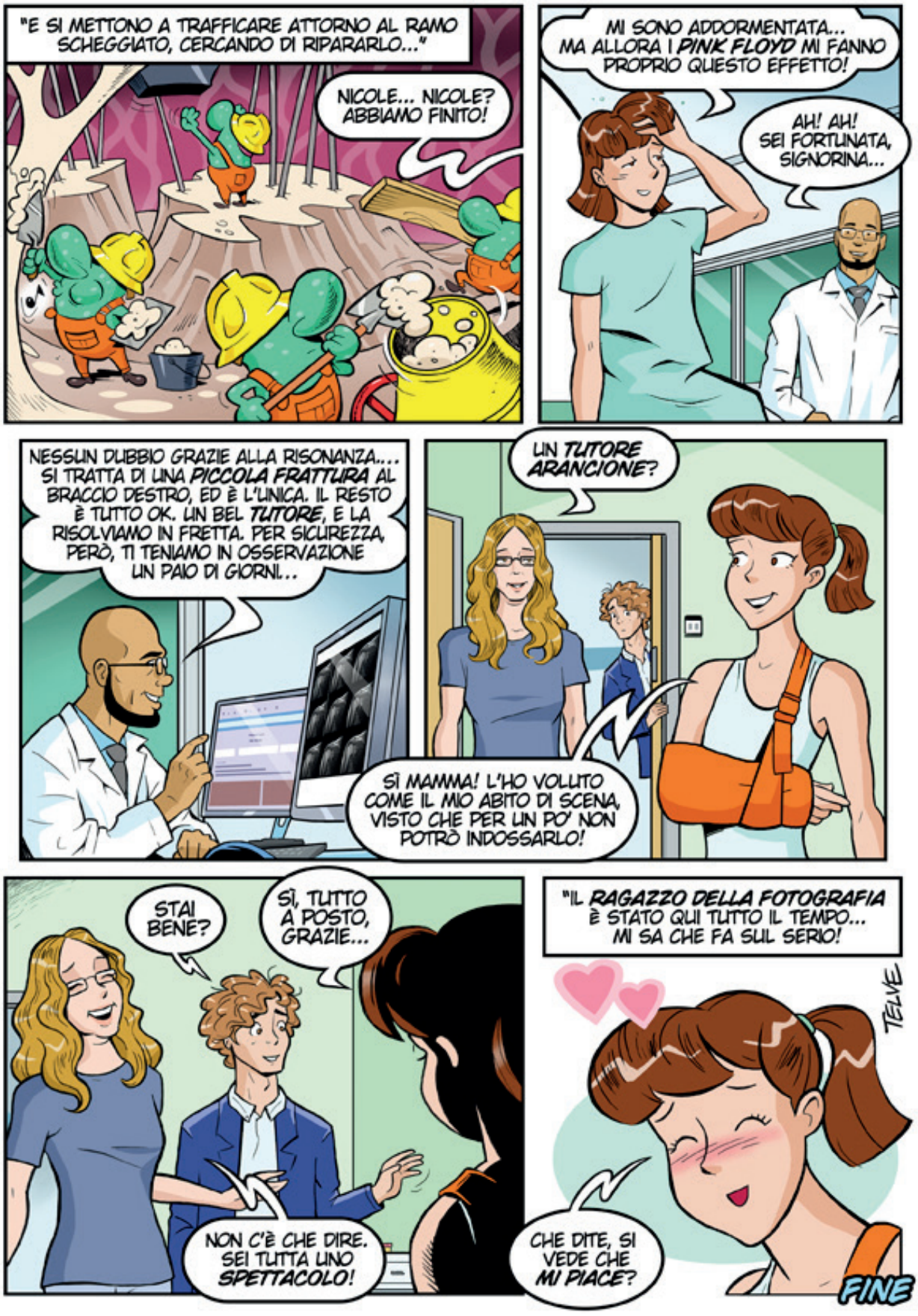

FLASH!
"POI IMPROVVISAMENTE UN FLASH DAL PUBBLICO..."
HIHIHIHI
AAH!
"...BERILLO SI SPAVENTA E S'IMPENNA. PERDO L'EQUILIBRIO E CADO..."


"SONO SVENUTA. MI RISVEGLIO CHE L'AMBULANZA È GIÀ ARRIVATA. LA SPALLA DESTRA MI FA MALE DA MORIRE... ACCANTO A ME CI SONO MIA MADRE, UN'INFERMIERA E..."
"...QUEL RAGAZZO CARINO... CHI È?"
Tre Valli Soc


MI DISPIACE, MI DISPIACE. SCUSAMI, TI PREGO, SCUSAMI. ERI COSÌ BELLA SUL TUO CAVALLO! TI HO FATTO UNA FOTO, MA NON MI ERO ACCORTO DI AVER SU IL FLASH...
SU, RAGAZZINA, ANDIAMO... PROBABILMENTE HAI UNA FRATTURA ALLA SPALLA, TI PORTIAMO IN OSPEDALE...
"ERA DAVVERO AVVILITO... E TREMENDAMENTE CARINO, CON I RICCIOLI BIONDI E DUE OCCHIONI DA CERBIATTO..."
"SIAMO ANDATI CON L'AMBULANZA..."
"...MAMMA HA PIANTO COME UNA FONTANA PER TUTTO IL TRAGITTO. PER FORTUNA L'OSPEDALE È ABBASTANZA VICINO. DAL PRONTO SOCCORSO MI HANNO PORTATA IN RADIOLOGIA... E MI HANNO FATTO INDOSSARE UN GONNELLINO PESANTISSIMO..."
AIUTO, NON RIESCO A MUOVERMI...
MA È DI PIOMBO?
PROPRIO COSÌ, SERVE A PROTEGGERTI DALLE RADIAZIONI...
SUCCESSIVAMENTE RITENIAMO OPPORTUNO FARE UNA RISONANZA MAGNETICA PERCHÉ È PIÙ COMPLETA, IN MODO DA VERIFICARE CHE NON CI SIANO ALTRE FRATTURE OLTRE A QUELLA DEL BRACCIO...
"IMPROVVISAMENTE IL MIO LETTINO SI MUOVE, E SOLO ADESSO MI ACCORGO CHE STO PER ENTRARE IN UN'ENORME LAVATRICE..."
PIÙ TARDI...
COS'È QUESTO MARCHINGEGNO?
È UN TUNNEL MAGNETICO.


TI FACCIAMO INDOSSARE DELLE CUFFIE PERCHÉ È MOLTO RUMOROSO. CERCHEREMO DI FARTI ASCOLTARE DELLA BUONA MUSICA, IN COMPENSO! È ANCHE IMPORTANTE CHE TU NON INDOSSI ORECCHINI, COLLANE O BRACCIALETTI IN METALLO!
ALL'IMBOCCATURA DELLA LAVATRICE MI PRENDE UN ATTACCO DI CLAUSTROFOBIA. NON SO COME, MA LA VOCE ALLE MIE SPALLE SE NE ACCORGE... QUESTO TECNICO DI RADIOLOGIA DEV'ESSERE UN TIPO SIMPATICO!
TUTTO BENE?
NON PROPRIO...
CE LA FAI?
"DEVO FARCELA... DEVO CONTROLLARMI..."
A OGNI MODO, SE QUALCOSA NON VA, SCHIACCIA IL PULSANTE CHE TI HO MESSO NELLA MANO SINISTRA.
"È CURIOSO, MI ACCORGO SOLO ORA DI AVERLO TRA LE DITA..."
"PER CONSERVARE LA CALMA, CHIUDO GLI OCCHI E MI CONCENTRO SULLA MUSICA. È STRANA, PSICHEDELICA. SEMBRANO I PINK FLOYD, I PREFERITI DI PAPÀ..."
"...FINO A QUALCHE TEMPO FA, LI METTEVA SEMPRE IN AUTO DURANTE I VIAGGI... E IO DORMIVO PER TUTTO IL TEMPO..."
"ANCHE ADESSO MI SEMBRA DI ESSERE IN AUTO. SONO IO A GUIDARE. LA STRADA DAVANTI A ME SFRECCIA SEMPRE PIÙ VELOCE... SEMBRA UN VORTICE CHE ALLA FINE MI RISUCCHIA..."


"ENTRO IN UN BUCO NERO, DA CUI MAN MANO SI STACCANO FILAMENTI ROSSASTRI CHE INIZIANO A SCORRERE COME FILUMICIATTOLI..."
"...SCORRONO TRA UN INTRICO DI RAMI BIANCASTRI...!"
"MI AVVICINO SEMPRE PIÙ A UNO DI QUESTI, LO PERCORRO..."
"...MA, ALL'IMPROVVISO, SI SPEZZA E LE SCHEGGE VOLANO INTORNO. VEDO ANCHE ROTEARE DELLE SFERE ROSSE E BLU..."
CRACK
"A QUESTE SI AGGIUNGONO DEI PUNTI PULSANTI DI LUCE..."
"...POI TUTTO SCOMPARE. RIMANE IL RAMO SPEZZATO, SU CUI ATTERRA UNA SPECIE DI NAVICELLA SPAZIALE GIALLASTRA E SPUGNOSA..."
CI SERVONO CITOCHINE E FATTORI DI CRESCITA PER AIUTARCI NEL LAVORO DI RICOSTRUZIONE DELL'OSSO!
"...NE ESCONO DEGLI OMINI VERDI CON LA TUTA DA MECCANICO E GLI ATTREZZI DA MURATORE..."


"E SI METTONO A TRAFFICARE ATTORNO AL RAMO SCHEGGIATO, CERCANDO DI RIPARARLO..."
NICOLE... NICOLE? ABBIAMO FINITO!
MI SONO ADDORMENTATA... MA ALLORA I PINK FLOYD MI FANNO PROPRIO QUESTO EFFETTO!
AH! AH! SEI FORTUNATA, SIGNORINA...
NESSUN DUBBIO GRAZIE ALLA RISONANZA.... SI TRATTA DI UNA PICCOLA FRATTURA AL BRACCIO DESTRO, ED È L'UNICA. IL RESTO È TUTTO OK. UN BEL TUTORE, E LA RISOLVIAMO IN FRETTA. PER SICUREZZA, PERÒ, TI TENIAMO IN OSSERVAZIONE UN PAIO DI GIORNI...
UN TUTORE ARANCIONE?
SÌ MAMMA! L'HO VOLUTO COME IL MIO ABITO DI SCENA, VISTO CHE PER UN PO' NON POTRÒ INDOSSARLO!
STAI BENE?
SÌ, TUTTO A POSTO, GRAZIE...
NON C'È CHE DIRE. SEI TUTTA UNO SPETTACOLO!
"IL RAGAZZO DELLA FOTOGRAFIA È STATO QUI TUTTO IL TEMPO... MI SA CHE FA SUL SERIO!
TELVE
CHE DITE, SI VEDE CHE MI PIACE?
FINE

Per moltissimi secoli l'unico modo per osservare l'interno del corpo umano era sezionarlo, eseguire un'autopsia. Oggi, con l'ausilio della diagnostica per immagini, è possibile invece esplorare dall'esterno organi e apparati anche di corpi vivi.

In questo volume l'autore ci accompagna in un sorprendente viaggio, illustrando scoperte, macchinari e tecnologie che hanno segnato e rivoluzionato la storia della medicina.

Il quadro che viene disegnato restituisce tutta la complessità di questo mondo in continua evoluzione, presentando la grande varietà di metodiche che ci permettono di valutare al meglio ogni struttura anatomica del corpo umano e di monitorare, e quindi curare, un importante numero di malattie.

Francesco Mascaro, xxx.

All'interno il fumetto:

Una caduta a lieto fine

Testi a cura degli alunni della classe 3B
della Scuola Media Acquarossa,
Ticino-Svizzera.

Disegni realizzati,
per la Scuola Romana dei Fumetti,
da Alessandro Telve.

Repubblica e Cantone Ticino
Dipartimento dell'educazione, della cultura e dello sport