



Armando Ferraioli

# Diagnostica per immagini, medicina nucleare e radioterapia oncologica

Nozioni fondamentali, requisiti strutturali,  
impiantistici e tecnologici per una progettazione  
e realizzazione a regola d'arte

TOMO PRIMO

DIAGNOSTICA PER IMMAGINI E MEDICINA NUCLEARE



Dario Flaccovio Editore

*Il voler conoscere è una disposizione  
dell'animo, una passione.  
L'esser costretti a conoscere  
è una mania, un'ossessione.  
Non è affatto vero che è lo scienziato  
a rincorrere la verità, è questa piuttosto  
che rincorre lo scienziato  
e gli crea una esistenziale  
sofferenza.*

Søren Kierkegaard



*Sovente penso a quanto meravigliosa possa essere la vita  
nel lasciarsi pervadere da quell'infinita sete di conoscenza  
che non conosce appagamento, fino a restarne (come me)  
consapevolmente prigioniero.  
Da sempre dedico gran parte del mio tempo migliore allo studio,  
alla progettazione ospedaliera e alla ricerca “mio primo amore”  
nel campo delle scienze biomediche in costante evoluzione.  
Nutro il desiderio costante di trasmettere condividendo tutto  
quanto appreso e personalmente elaborato nel corso degli anni.*

*Ai miei nipoti Thomas e Samuel  
affinché mettano al servizio delle Scienze  
il loro percorso e il loro sapere  
e diventino luce e riferimento  
per un benessere comune...*

*Un ringraziamento particolare a Pat  
mia fedele e costante corretrice di bozze.*



Armando Ferraioli

# **Diagnostica per immagini, medicina nucleare e radioterapia oncologica**

**Nozioni fondamentali, requisiti strutturali, impiantistici e tecnologici  
per una progettazione e realizzazione a regola d'arte**

TOMO I

Diagnostica per immagini e medicina nucleare



Dario Flaccovio Editore

Armando Ferraioli

**DIAGNOSTICA PER IMMAGINI, MEDICINA NUCLEARE E RADIOTERAPIA ONCOLOGICA**

TOMO I - Diagnostica per immagini e medicina nucleare

ISBN 9788857913889

© 2023 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686



[linktr.ee/DarioFlaccovioEditore](http://linktr.ee/DarioFlaccovioEditore)

Prima edizione: marzo 2023

Ferraioli, Armando <1949->

Diagnostica per immagini , medicina nucleare e radioterapia oncologica : nozioni fondamentali, requisiti strutturali, impiantistici e tecnologici per una progettazione e realizzazione a regola d'arte / Armando Ferraioli. -

Palermo : D. Flaccovio, 2023.

(Gestione di sanità)

ISBN 978-88-579-1388-9

1. Diagnosi per immagini.

616.0754 CDD-23

SBN PAL0362458

*CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"*

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

## Struttura dell'opera

### • TOMO I • *Diagnostica per immagini e medicina nucleare*

1. Le bioimmagini .....	pag. 21
2. Diagnostica per immagini.....	» 23
3. Descrizione della diagnostica per immagini.....	» 35
4. Requisiti basilari di attrezzature e impianti.....	» 71
5. Progettazione e schemi di strutture di radiologia .....	» 78
6. La struttura del reparto di radiologia diagnostica.....	» 98
7. Requisiti strutturali per i reparti di radiologia diagnostica ed interventistica....	» 105
8. Radioterapia oncologica .....	» 113
9. Struttura del reparto di neuroradiologia .....	» 116
10. Tomografia computerizzata (TC).....	» 119
11. La risonanza magnetica (RM) .....	» 127
12. Medicina nucleare .....	» 133
13. Tipologie di acquisizioni in medicina nucleare.....	» 137
14. Struttura del reparto di medicina nucleare.....	» 141
15. Descrizione della medicina nucleare.....	» 149
16. I locali necessari per una struttura di medicina nucleare diagnostica e terapeutica.....	» 183
17. Progettazione e schemi di medicina nucleare.....	» 188
18. Attività e requisiti delle sale di diagnostica per immagini e medicina nucleare	» 206
19. Apparecchiature diagnostiche per la medicina nucleare: gamma camere, pet e altri strumenti.....	» 212
20. Tomografia ad emissione di fotone singolo (SPECT).....	» 217
21. Tomografia ad emissione di positroni (PET) .....	» 220
22. Gamma camera.....	» 224
23. Sistemi ibridi multimodali: SPECT-TC, PET-TC, PET-MR.....	» 226
24. Caratteristiche impiantistiche delle apparecchiature per diagnostica per immagini .....	» 232
25. Rischi presenti in un magnete superconduttore di una risonanza magnetica (Tubo di Quench) .....	» 242
26. Gabbia di Faraday – Schermatura RF e magnetica .....	» 250
27. Progettazione di un laboratorio a contenimento biologico.....	» 255



28. Radiazioni ionizzanti e obbligo di prevenzione incendi.....	» 258
29. Rischio incendio nei reparti dove si manipolano radioisotopi: la medicina nucleare .....	» 274
30. Caratteristiche degli impianti di condizionamento e del trattamento dell'aria nei reparti di imaging, medicina nucleare e radioterapia .....	» 280
31. Impianti di condizionamento nei reparti dove vengono impiegate sostanze radioattive in forma non sigillata a scopo medico .....	» 281
32. Impianti di condizionamento .....	» 287
33. Impianto di condizionamento per un reparto di risonanza magnetica.....	» 293
34. Impianti di ventilazione all'interno delle sale esami a risonanza magnetica ....	» 297
35. Impianto di condizionamento nei reparti di emodinamica .....	» 306
36. Predisposizione dei gas medicali nelle sale di diagnostica per immagini e medicina nucleare .....	» 310
37. Impianto gas medicinali per un reparto di emodinamica .....	» 311
38. Impianto gas medicinali in un reparto di radiologia e diagnostica per immagini	» 332
39. Impianto elettrico in un reparto di diagnostica per immagini .....	» 346
40. Impianto elettrico di un reparto di emodinamica .....	» 364

· **TOMO II · Radioterapia oncologica**

41. Panoramica della radioterapia .....	» 403
42. Radioterapia.....	» 408
43. Struttura del reparto di radioterapia.....	» 427
44. Rappresentazione schematica dei centri di radioterapia ed attrezzature .....	» 433
45. Flusso di lavoro in radioterapia e progetto concettuale.....	» 437
46. Unità di radio-oncologia.....	» 453
47. Acceleratore lineare.....	» 483
48. Requisiti essenziali per la sala di trattamento con acceleratori lineari (LINAC)	» 488
49. Sala per stampi e sale di trattamento .....	» 490
50. Progettazione della sala di controllo nelle strutture di radioterapia.....	» 500
51. Radioterapia ad intensità modulata (IMRT) (Intensity Modulated Radiation Therapy) .....	» 503
52. Tomoterapia elicoidale .....	» 516
53. Caratteristiche cyberknife® .....	» 520
54. Terapia ad ortovoltaggio e brachiterapia elettronica .....	» 523
55. Descrizione delle caratteristiche di una sala interventistica .....	» 532
56. Progettazione sala per Cyberknife® .....	» 536
57. Radioterapia intraoperatoria (IORT) .....	» 547

58. Principi e nozioni sulle radiazioni .....	» 559
59. Fisica medica: nozioni di fisica delle radiazioni ionizzanti.....	» 570
60. Le unità di misura della radioattività.....	» 581
61. Spessori decivalenti ed emivalenti .....	» 584
62. Processi di produzione di radiazioni ionizzanti.....	» 585
63. Radioprotezione: cosa bisogna sapere.....	» 589
64. Radioprotezione.....	» 596
65. Progettazione di sale per sorgenti di radiazioni.....	» 606
66. Schermature per la medicina nucleare.....	» 625
67. Criteri progettuali per la schermatura di radiazioni.....	» 632
68. Materiali da costruzione, metodi e verifiche .....	» 645
69. Caratteristiche delle schermature in piombo contro le radiazioni .....	» 659
70. Valutazione della progettazione di radioprotezione e requisiti di verifica.....	» 662
71. Principi di base della progettazione della schermatura per la radioterapia .....	» 680
72. Schermatura per radiazioni da apparecchiature di radioterapia a megavoltaggio	» 697
73. Radiazione groundshine .....	» 729
74. Radiazione skyshine .....	» 731
75. Tomoterapia elicoidale: caratteristiche dell'apparecchiatura, requisiti delle sale, impiantistici e di schermatura contro le radiazioni per la progettazione del bunker .....	» 734
76. Equazioni di progettazione e di schermatura per la sala di un acceleratore lineare.....	» 744
77. Schermatura dalle radiazioni e progetto del bunker .....	» 763
78. Schermatura del bunker in funzione delle NCPR 151.....	» 773
79. La norma UNI EN ISO 16645.....	» 786
80. La normativa italiana di radioprotezione.....	» 855
81. Ciclotrone .....	» 858
82. Generalità nella realizzazione di un reparto ciclotrone .....	» 864
83. Ciclotrone a servizio della PET.....	» 870
84. Rischi legati agli acceleratori di particelle e ai problemi di radioprotezione ....	» 872
85. La progettazione di una struttura Bunker con Ciclotrone.....	» 874
86. Progettazione di un impianto con ciclotrone per la produzione di fluorodesossiglucosio (FDG):configurazione dell'impianto.....	» 895
87. I radiofarmaci .....	» 918
88. Radiofarmacia.....	» 922
89. Progettazione di una radiofarmacia.....	» 930
90. Caratteristiche degli ambienti per la produzione di radiofarmaci in medicina nucleare.....	» 936

91. Progettazione del laboratorio caldo a servizio di un ciclotrone.....	» 944
92. Organizzazione di un laboratorio PET .....	» 957
93. Protonterapia.....	» 961
94. Caratteristiche apparecchiature per radioterapia .....	» 994
Termini e definizioni di protezione radiologica.....	» 1009
Abbreviazioni.....	» 1017
Glossario delle sigle.....	» 1022
Simboli.....	» 1026
Misure .....	» 1031
Glossario .....	» 1032
Bibliografia .....	» 1061

## Indice TOMO I

Premessa .....	pag. 13
Introduzione .....	» 15
<b>TOMO I - Diagnostica per immagini e medicina nucleare</b>	
1. Le bioimmagini .....	pag. 21
2. Diagnostica per immagini.....	» 23
3. Descrizione della diagnostica per immagini.....	» 35
4. Requisiti basilari di attrezzature e impianti.....	» 71
5. Progettazione e schemi di strutture di radiologia .....	» 78
6. La struttura del reparto di radiologia diagnostica.....	» 98
7. Requisiti strutturali per i reparti di radiologia diagnostica ed interventistica....	» 105
8. Radioterapia oncologica .....	» 113
9. Struttura del reparto di neuroradiologia .....	» 116
10. Tomografia computerizzata (TC).....	» 119
11. La risonanza magnetica (RM) .....	» 127
12. Medicina nucleare .....	» 133
13. Tipologie di acquisizioni in medicina nucleare.....	» 137
14. Struttura del reparto di medicina nucleare.....	» 141
15. Descrizione della medicina nucleare.....	» 149
16. I locali necessari per una struttura di medicina nucleare diagnostica e terapeutica.....	» 183
17. Progettazione e schemi di medicina nucleare.....	» 188
18. Attività e requisiti delle sale di diagnostica per immagini e medicina nucleare	» 206
19. Apparecchiature diagnostiche per la medicina nucleare: gamma camere, pet e altri strumenti .....	» 212
20. Tomografia ad emissione di fotone singolo (SPECT).....	» 217
21. Tomografia ad emissione di positroni (PET) .....	» 220
22. Gamma camera.....	» 224
23. Sistemi ibridi multimodali: SPECT-TC, PET-TC, PET-MR .....	» 226
24. Caratteristiche impiantistiche delle apparecchiature per diagnostica per immagini .....	» 232
25. Rischi presenti in un magnete superconduttore di una risonanza magnetica (Tubo di Quench) .....	» 242
26. Gabbia di Faraday – Schermatura RF e magnetica .....	» 250
27. Progettazione di un laboratorio a contenimento biologico.....	» 255

28.	Radiazioni ionizzanti e obbligo di prevenzione incendi.....	» 258
29.	Rischio incendio nei reparti dove si manipolano radioisotopi: la medicina nucleare .....	» 274
30.	Caratteristiche degli impianti di condizionamento e del trattamento dell'aria nei reparti di imaging, medicina nucleare e radioterapia .....	» 280
31.	Impianti di condizionamento nei reparti dove vengono impiegate sostanze radioattive in forma non sigillata a scopo medico .....	» 281
32.	Impianti di condizionamento .....	» 287
33.	Impianto di condizionamento per un reparto di risonanza magnetica.....	» 293
34.	Impianti di ventilazione all'interno delle sale esami a risonanza magnetica ....	» 297
35.	Impianto di condizionamento nei reparti di emodinamica .....	» 306
36.	Predisposizione dei gas medicali nelle sale di diagnostica per immagini e medicina nucleare .....	» 310
37.	Impianto gas medicinali per un reparto di emodinamica .....	» 311
38.	Impianto gas medicinali in un reparto di radiologia e diagnostica per immagini	» 332
39.	Impianto elettrico in un reparto di diagnostica per immagini .....	» 346
40.	Impianto elettrico di un reparto di emodinamica .....	» 364

## Premessa

La radiologia medica si avvale prioritariamente dell'impiego di radiazioni ionizzanti nella diagnostica (radiodiagnostica) e nella terapia (radioterapia) per produrre e interpretare immagini mediche (e non solo). Le radiazioni ionizzanti (così denominate perché nell'interazione con la materia provocano ionizzazioni) comprendono sia onde elettromagnetiche di elevata energia che particelle materiali accelerate.

Con macchine ad alimentazione elettrica si generano radiazioni ionizzanti elettromagnetiche (raggi X) ovvero si accelerano particelle materiali di varia natura (elettroni, neutroni, ecc.), conferendo loro energia sufficiente a determinare una ionizzazione nella materia. Particelle materiali e radiazioni elettromagnetiche ionizzanti (raggi alfa, beta e gamma) sono altresì generate spontaneamente da elementi radioattivi naturali ad esempio dal radio o da radioisotopi artificiali. Nella branca della radiologia correntemente denominata “medicina nucleare” è particolarmente studiato l'impiego clinico dei radioisotopi artificiali per scopi diagnostici.

Altri sono gli agenti fisici che vengono impiegati in radiologia: campi magnetici; correnti elettriche (continue, alternate, modulate a bassa frequenza); microonde; raggi infrarossi e raggi ultravioletti.

Gli ultrasuoni sono utilizzati sia in terapia (fisioterapia strumentale) che in radiodiagnostica; i raggi infrarossi nella termografia; gli ultrasuoni nell'ecografia; i campi magnetici e le onde herziane comprese fra i 2 e 60 MHz nella tomografia con risonanza magnetica nucleare. Il moltiplicarsi dei metodi atti a rilevare e produrre immagini dal corpo umano mediante giunti fisici, alternativi alle radiazioni ionizzanti (indagini con ultrasuoni e RM), giustificano la proposta di sostituire il termine “radiodiagnostica” con quella di “diagnostica per immagini”.

Tutti gli agenti fisici impiegati in radiologia, ed in particolare le radiazioni ionizzanti, interagiscono con la materia secondo modalità diverse. Le conoscenze ad esse relative costituiscono il presupposto della “radiobiologia” che si occupa di quei fenomeni biologici che si verificano nelle cellule, nei tessuti ed in tutti gli organi viventi più complessi esposti all'azione di queste forme di energia.

La radiologia fornisce quindi sia le conoscenze indispensabili per un corretto impiego degli agenti fisici utilizzati in terapia, che l'entità dei danni che questi possono eventualmente provocare nella popolazione, se utilizzati non soltanto per scopi medici ma anche per scopi industriali o bellici. In meno di un secolo, la radiodiagnostica ha contribuito in modo determinante ai più significativi progressi della scienza medica.

Le nuovissime tecnologie in diagnostica per immagini (come ad esempio la tomo-

sintesi digitale) rappresentano la radiologia tradizionale in 3D ovvero l'evoluzione della stratigrafia tradizionale che ne sintetizza tutti i vantaggi. Essa consiste infatti in multiple esposizioni di una singola acquisizione che consentono di ottenere “sezioni di immagini prive di sovrapposizioni” nell'intervallo di separazione di 1 mm.

La tomosintesi è una tecnica “problem solving”, con la quale un dubbio reperto radiografico standard può essere immediatamente chiarito senza ricorrere ad esami più impegnativi e costosi quali la TC e la RM.

La diagnostica del terzo millennio è una “diagnostica integrata”, basata su macchine ibride che simultaneamente sono in grado di raccogliere informazioni morfostrutturali e funzionali, con l'acquisizione di un dato diagnostico che riporta i vantaggi di entrambi, limitando difetti e carenze.

A questo patrimonio diagnostico, la medicina nucleare aggiunge la capacità di un'azione terapeutica di grande efficacia che si sta sempre più ampliando su scenari che sono prevalentemente (anche se non esclusivamente) oncologici.

Questo libro sulla diagnostica per immagini, medicina nucleare e radioterapia, partendo dai principi basilari dei loro contenuti e della loro specificità, dettaglia ed illustra: metodiche varie; specificità; problematiche da affrontare nella progettazione e realizzazione delle differenti tipologie di reparti; problematiche legate alla radioprotezione; produzione dei radiofarmaci, realizzazione della radio-oncologia (atta ad utilizzare gli acceleratori lineari per la produzione di radioisotopi); varie procedure e problematiche da affrontare per svariate tipologie di radioterapia come quelle legate alla corretta funzionalità delle diagnostiche per immagini e della medicina nucleare. Aspetti salienti riportati nel testo sono relativi sia all'esposizione radioattiva del paziente durante l'esame, alla sua protezione e a quella relativa al personale coinvolto, affinché possa essere convenientemente protetto da un'eccessiva esposizione alle radiazioni durante tutto il periodo di lavoro previsto. Nel testo viene doverosamente evidenziato come già in fase progettuale tutto debba essere pianificato al fine di ottenere una protezione efficace dalla radioattività, pur mantenendo un'elevata qualità delle immagini.

## Introduzione

Il ruolo primario dei reparti di diagnostica per immagini è quello di supportare e garantire ai reparti ospedalieri e alle strutture sanitarie un'adeguata diagnostica o un trattamento atto ad individuare eventuali patologie e ad indicare l'impiego di un'adeguata terapia. Quando la diagnostica per immagini (imaging) viene utilizzata quale guida per una procedura da attuare, ci si riferisce senza alcun dubbio alla radiologia interventistica. La radiologia o diagnostica per immagini nel termine più semplicistico è quella che si avvale dell'utilizzo dei raggi X e delle sostanze radioattive per formulare una diagnosi e trattare una malattia.

Negli anni più recenti questa definizione si è espansa fino ad includere l'utilizzo degli ultrasuoni e della risonanza magnetica nella diagnostica e nelle procedure utili al trattamento di varie patologie. Nessuna di queste ultime tecniche citate utilizza radiazioni ionizzanti o raggi X. La diagnostica per immagini è impiegata sia per identificare una malattia che per escluderla ed è comunemente utilizzata come parte di un range di test diagnostici, includendo la valutazione dei sintomi del paziente per formulare una diagnosi.

Questa specialità medica gioca un ruolo vitale nel management del paziente, che viene coinvolto in consultazioni, procedure diagnostiche, approfondimenti e relativi trattamenti. Un reparto di diagnostica per immagini ben progettato e pianificato è alla base essenziale dell'intero percorso di trattamento, se il paziente ha necessità di essere gestito in modo efficace e in tempi brevi.

Una progettazione ed una pianificazione a regola d'arte da parte dei progettisti si basa su una consultazione iniziale che possa continuare nel tempo con quelli che saranno gli utilizzatori del reparto, considerando i possibili sviluppi futuri (almeno nell'arco dei successivi dieci anni). La progettazione delle sale dev'essere realizzata ipotizzando possibili sostituzioni di vecchie apparecchiature con quelle future di nuova concezione, frutto di un progresso tecnologico sempre più veloce. Il ciclo di vita delle tecnologie biomedicali ormai si consuma tra i 5 e i 10 anni a seconda delle specialità ed è fondamentale tener presente che gli sviluppi futuri richiederanno ulteriori spazi per la preparazione del paziente e per il suo supporto. La diagnostica per immagini è oramai legata ad innumerevoli modalità di applicazioni. Il layout, la realizzazione ed i requisiti delle sale variano significativamente a seconda delle modalità, come ad esempio i requisiti radioprotezionistici. Alcune di queste modalità possono essere anche posizionate su mezzi mobili o addirittura permanentemente installate su di essi. Alcune tecnologie come unità MRI e TC richiedono infatti veicoli articolati di enormi dimensioni atti allo scopo. Tutte le modalità di diagnostica per immagini producono



immagini digitali (ovvero dati digitali che possano essere rilevati, memorizzati e trasmessi). Tutto ciò offre la grande opportunità che le stesse immagini possano essere visualizzate simultaneamente e discusse da clinici residenti nei posti più svariati. Tutto ciò grazie al sistema PACS (Picture Archive and Communications System).

Tale sistema consiste generalmente in:

- workstation per l'interpretazione delle immagini;
- server Web per la distribuzione;
- stampante per la registrazione in archivio;
- server di immagini per il trasferimento delle informazioni e la conservazione delle stesse;
- archivi per informazioni offline.

La moderna diagnostica per immagini può essere suddivisa in aree diverse che riflettono l'esigenza di avere alla base, un'organizzazione ottimale nella scelta delle diverse tipologie di apparecchiature utili e delle aree atte ad ospitarle, a seconda che si tratti di una nuova realizzazione o della ristrutturazione di strutture già esistenti. Le apparecchiature di diagnostica per immagini possono essere basate sull'utilizzo di raggi X, ultrasuoni, MRI, TC, PET-CT, PET-MRI o su qualsiasi combinazione delle stesse. La loro localizzazione nelle strutture per la cura della salute è determinata dai requisiti di schermature richieste, dallo spazio disponibile e dalle tecnologie indispensabili per organizzare la struttura di utilizzo. La radiologia interventistica può utilizzare le stesse tecnologie della diagnostica per immagini con l'unica differenza che esse necessitano di tecniche mini-invasive. In corso di intervento potrebbe anche essere richiesta per il paziente una sedazione o una procedura anestesiológica. Alcune procedure richiedono che la sala preposta sia situata nelle adiacenze di una sala operatoria o che la stessa sia progettata a guisa di sala operatoria, tenendo conto anche della fase di recupero del paziente nel risveglio “post-operatorio”.

La medicina nucleare (ovvero le immagini ottenute mediante radionuclidi) utilizza radiofarmaci o sostanze radioattive non sigillate. Un composto radioattivo è etichettato con un isotopo radioattivo somministrato al paziente mentre dispositivi conosciuti come “gamma camere” offrono la possibilità di visionare immagini atte a mostrare la distribuzione del radiofarmaco iniettato nel corpo del paziente.

La maggior parte dei moderni reparti di medicina nucleare utilizzano la SPECT (Tomografia ad Emissione di Singoli Fotoni) che si avvale di una tecnologia simile alle gamma camere tradizionali, con la particolarità che essa riesce ad offrire immagini 3D utilizzando sezioni trasversali. I pazienti vengono trasferiti in una sala di somministrazione del radiofarmaco dedicata per poi attendere in una sala di attesa “calda” (una volta assorbito il mezzo radioattivo) e successivamente trasferiti nella sala scansione per sottoporsi alle indagini programmate. Tutto ciò evidenzia che questa tipologia di pazienti entra in aree con accessi controllati per essere sottoposta ad indagini di medicina nucleare. Si pone quindi evidente il problema legato sia al monitoraggio delle esposizioni radioattive che a quello della protezione per il personale preposto ai

reparti. Parimenti sta riscontrando un grande sviluppo la terapia con radioisotopi che sfrutta le caratteristiche metaboliche di radiofarmaci preparati ad hoc, per la somministrazione di un'opportuna dose di radiazioni, grazie alla specificità della captazione del radiofarmaco nel bersaglio da irradiare. Le principali attività con radionuclidi in medicina nucleare sono dunque: diagnostica PET; produzione di emettitori di positroni mediante ciclotrone in situ e sintesi dei radiofarmaci nel laboratorio di radiofarmacia per l'uso clinico in diagnostica PET; diagnostica medico-nucleare convenzionale; terapia radiometabolica mediante somministrazioni di isotopi radioattivi sia su pazienti in regime ambulatoriale che su pazienti ricoverati.

Le principali attività svolte all'esterno del reparto di medicina nucleare che comportano l'utilizzo di sorgenti radioattive non sigillate sono: chirurgia radioguidata; radio-embolizzazione con microsferi radioattive quali  $^{90}\text{Y}$  o  $^{166}\text{Ho}$ ; utilizzo di un irradiatore ematico contenente sorgenti radioattive. La scelta dei radioisotopi da impiegare segue criteri differenti sia che nel reparto/servizio si svolgano attività di diagnostica o di terapia che in base alle attività cliniche e alle dotazioni tecnologiche. Oltre a queste metodiche di utilizzo “in vivo” esistono anche applicazioni “in vitro” di isotopi radioattivi nelle analisi di laboratorio RIA, dove è utilizzata la tecnica del dosaggio radioimmunologico per gli esami di campioni biologici con l'impiego di traccianti radioattivi. Risulta evidente la necessità che la progettazione del reparto/servizio di medicina nucleare preveda caratteristiche e dotazioni tali da limitare al minimo consentito i rischi da irraggiamento, prevenendo in tal modo la contaminazione dei lavoratori, dell'ambiente di lavoro e delle apparecchiature, nonché la dispersione di sostanze radioattive all'esterno del reparto, a garanzia della popolazione. In un laboratorio di medicina nucleare si dovrà provvedere quindi ad una serie di adempimenti, tra cui: corretta distribuzione e predisposizione dei locali; adeguata scelta delle superfici di rivestimento; opportuno sistema di ventilazione; predisposizione di attrezzature speciali quali cappe ventilate, scatole a guanti (glove box), schermature e rilevatori di radioattività; adeguate soluzioni al problema della gestione e dello stoccaggio dei rifiuti solidi, liquidi e gassosi; procedure di lavoro finalizzate alla gestione in sicurezza delle attività che comportano un rischio radiologico.

La radioterapia utilizza radiazioni ionizzanti nella cura dei tumori, ovvero radiazioni ad alta energia emesse da sostanze radioattive (per esempio, iodio e cobalto), oppure prodotte da specifiche apparecchiature chiamate acceleratori lineari (LINAC). Le radiazioni sono dirette contro la massa tumorale e danneggiano in particolare le cellule cancerose che in questo modo non riescono più a proliferare: il tumore così trattato non è più in grado di crescere, sino a ridursi progressivamente finanche a scomparire. La radioterapia può essere somministrata con due modalità: radioterapia esterna (o transcutanea o a fasci esterni) dove la fonte di raggi è posizionata all'esterno del corpo; radioterapia interna, ovvero radioterapia somministrata direttamente dall'interno del corpo, mediante minuscole sonde di metallo radioattivo posizionate all'interno del tumore stesso o molto vicino ad esso (brachiterapia) oppure attraverso un liquido radioattivo da bere o da iniettare in vena, captato in maniera specifica dalle cellule tumorali. Il trattamento radioterapico è personalizzato per ciascun paziente, a seconda

del tipo di tumore, delle sue dimensioni, della sua localizzazione nell'organismo e delle condizioni del paziente stesso. Varie sono le tecniche di radioterapia somministrate quali: radioterapia conformazionale; radioterapia guidata dalle immagini (IGRT); radioterapia con fasci ad alta intensità modulata (IMRT); radioterapia stereotassica; radioterapia intraoperatoria (IORT) che associa la radioterapia all'intervento chirurgico (solo per citarne alcune). La progettazione di un reparto di diagnostica per immagini, di un reparto di medicina nucleare o di un reparto di radioterapia richiede delle competenze specifiche in termini di struttura e di processi sia organizzativi che professionali. Ogni struttura deve essere dotata di ambienti che siano corrispondenti alla destinazione d'uso preposta e delle relative attrezzature che consentano di erogare prestazioni radioterapiche ad alto livello. Una corretta pianificazione e preparazione degli spazi è fondamentale per l'installazione e l'impiego delle apparecchiature diagnostiche.

Il dimensionamento degli spazi, il posizionamento delle attrezzature, gli ingombri generali, pesi e consumi energetici, devono essere quindi attentamente valutati nonché tenuti in debita considerazione già in fase progettuale. Le applicazioni diagnostiche sono caratterizzate dalla somministrazione di radiofarmaci al paziente e dal successivo rilevamento esterno delle radiazioni emesse. Esse rappresentano una metodica d'elezione per le informazioni cliniche specifiche in grado di fornire, così come la terapia con radioisotopi che sfrutta le caratteristiche metaboliche di radiofarmaci preparati ad hoc per la somministrazione di un'opportuna dose di radiazioni nel bersaglio da irradiare. Queste metodiche seguono criteri differenti a seconda che nel reparto/servizio si svolgano attività di diagnostica o di terapia e che in base alle attività cliniche e alle dotazioni diagnostiche richiedano competenze ben specifiche. In fase di progettazione del reparto bisognerà tener conto della necessità di gestire separatamente i flussi dei pazienti e dei materiali radioattivi, evitando sovrapposizioni di percorsi. Le problematiche enunciate evidenziano in modo inconfutabile che la progettazione dei reparti afferenti a queste tipologie richiedono grandi competenze e solide esperienze nel campo. Nel testo vengono affrontati aspetti relativi a: radiazioni ionizzanti; radioprotezione; materiali da costruzione; schermature; ciclotrone e relative tipologie di sale che lo ospitano; progettazione e realizzazione del bunker che a sua volta ospita la sala di trattamento per il paziente; progettazione del “laboratorio caldo” a servizio del ciclotrone; impianti tecnici (elettrici, condizionamento e trattamento dell'aria (HVAC) e gas medicali) con esempi progettuali realizzati (riportati più esplicitamente nel CR-ROM allegato al testo); tavole esplicative che riportano le dimensioni delle sale da realizzare per contenere apparecchiature da utilizzare nella diagnostica per immagini, nella medicina nucleare e nella radioterapia; diagrammi funzionali e dimensionali delle varie tipologie di reparti descritti e dettagliati nei vari capitoli. Questo testo rappresenta un compendio di studi, ricerche, progettazioni e pubblicazioni frutto della pluriennale esperienza maturata dall'Autore nel campo dell'Ingegneria medica e clinica.

Esso è rivolto ai progettisti del settore e a tutti quelli coinvolti con tali tipologie di reparti, consentendo di affrontare in modo completo le problematiche relative alla progettazione, alla realizzazione e alle specificità degli impianti in esse coinvolti.

**TOMO I**  
**Diagnostica per immagini**  
**e medicina nucleare**



# 1. Le bioimmagini

Con il termine *bioimmagine* si identifica qualsiasi immagine generata da un essere vivente, relativa all'anatomia o alla fisiologia di parti interne del corpo.

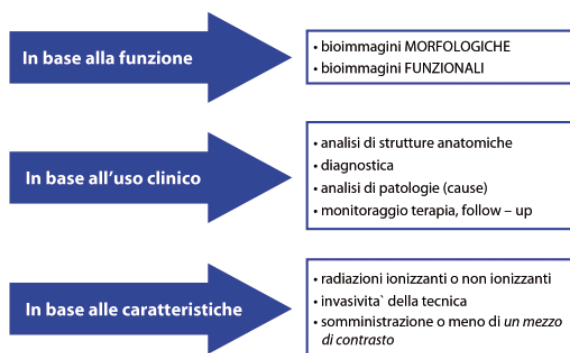


Figura 1

La formazione delle immagini richiede che un'opportuna forma di energia (raggi X, ultrasuoni, ecc.) interagisca con la struttura studiata in modo che una grandezza fisica associata riproduca con la sua distribuzione spazio-temporale l'analoga distribuzione di altre grandezze fisiche (di interesse medico) nella struttura. Poiché i differenti metodi sono basati su differenti interazioni di energia con i tessuti biologici, forniscono misure relative alle strutture di riferimento di differenti proprietà fisiche. Ogni immagine è quindi una rappresentazione parziale della realtà, qualunque sia la tecnica che l'ha prodotta. L'integrazione delle informazioni ottenute con diverse metodiche costituisce un arricchimento della rappresentazione complessiva della realtà osservata. Nelle strutture viventi, due esseri simili per una data proprietà fisica possono differire per altre proprietà: compito della ricerca nella diagnostica per immagini è capire come queste disparità fisiche possano essere utilizzate per evidenziare anomalie relative ad eventuali condizioni patologiche. Le tecniche di introduzione più recenti sono complementari e non alternative a quelle preesistenti, né completamente sostitutive. È importante notare che l'avvento delle nuove apparecchiature non ha reso inutili quelle già esistenti, dato che ciascuna di esse ha prerogative proprie, vantaggi e svantaggi compresi. Diversi sono infatti i casi di applicazione diagnostica in cui le tecniche di radiologia convenzionale riescono a fornire le informazioni necessarie con ottimi risultati (anche in termini di tempo impiegato) ma con costi molto più elevati e senza

che ce ne sia un effettivo bisogno. Le bioimmagini possono essere classificate in vario modo, a seconda del criterio che si adotta come elemento discriminante. Un criterio usato di prassi è il raggruppamento di tecniche diverse, utilizzate per studiare lo stesso organo. Il medico in genere si specializza nello studio delle patologie di un determinato distretto utilizzando le varie tecniche disponibili. La scelta della tecnica da utilizzare è di volta in volta determinata dal quesito diagnostico al quale si intende dare risposta. Le tecniche utilizzate possono essere: invasive, se prevedono l'introduzione di uno strumento (sonda o catetere) nel corpo del paziente; non invasive se sono esterne al paziente. Una distinzione spesso utilizzata nel merito si riferisce al grado di innocuità delle procedure per l'ottenimento delle immagini (uso o meno di radiazioni ionizzanti) che di conseguenza consentono o meno il monitoraggio prolungato nel tempo del paziente. Risulta comunque più naturale classificare le bioimmagini relativamente alla tecnologia utilizzata per ottenerle (radiografia, scintigrafia, ecografia, ecc.) oppure secondo la risoluzione spaziale (possibilità di evidenziare particolari di piccole dimensioni), temporale (possibilità di effettuare studi dinamici e non solo statici) o in ampiezza (elevato rapporto segnale-rumore che consente di evidenziare un numero elevato di livelli di grigio e differenziare quindi i tessuti con caratteristiche anche solo leggermente diverse). Ulteriori classificazioni possono nascere dal considerare l'uso o meno di un agente di contrasto e dalla finalità, morfologica o funzionale, della procedura di immagine. L'importanza economica delle bioimmagini appare evidente considerando due principali fattori, dove il primo è costituito dal valore della pratica medica utilizzata. Moltissime patologie possono essere infatti individuate mediante qualche appropriata tecnica d'immagine, così come può essere studiato il loro decorso o l'efficacia della terapia seguita. Il secondo fattore è costituito dalla somma ingente relativa al valore delle apparecchiature diagnostiche per immagine utilizzate diffuse in tutti gli ospedali pubblici e privati e dalla quantità di materiale “usa e getta” quotidianamente impiegato.

### **Imaging medico nucleare**

La tecnica di imaging medico nucleare si propone di mostrare, in termini anche quantitativi oltre che qualitativi, come funziona l'organo in esame (imaging funzionale). L'imaging medico nucleare ha come scopo lo studio di processi biochimici e fisiologici nell'organismo. Le immagini medico-nucleari riproducono la distribuzione di una molecola biologicamente attiva legata ad un isotopo radioattivo, introdotto nel corpo del paziente tramite somministrazione prevalentemente endovenosa, ma anche per inalazione o ingestione. Poiché l'immagine riprodotta rappresenta la distribuzione del radiofarmaco all'interno del corpo, è possibile individuare le aree in cui avvengono determinati processi metabolici. In questo modo si può determinare se la funzionalità biochimica di un organo è compromessa, oppure se una qualche “barriera” fisiologica ha la giusta permeabilità o meno, mentre altre metodiche di imaging (MRI strutturale, TC) si limitano ad evidenziare la sola struttura fisica. Le tecniche di imaging medico nucleare vengono pertanto impiegate per quegli organi e quelle patologie in cui la funzionalità biologica è di primaria importanza, come ad esempio in ambito neurologico.

## 2. Diagnostica per immagini

Con i termini di *imaging* o *imaging biomedico* oppure *diagnostica per imaging* ci si riferisce al generico processo attraverso il quale è possibile osservare un'area di un organismo non visibile dall'esterno.

La radiologia è la branca della medicina che principalmente se ne occupa. L'imaging strutturale rivela l'anatomia del cervello mentre l'imaging funzionale introducendo la dimensione tempo, consente di osservare l'attività cerebrale di una persona mentre svolge un compito cognitivo. Le tecniche di imaging si distinguono in:

- ecografia;
- ecografia dinamica;
- ecografia doppler, anche nelle varianti color doppler e power doppler;
- ecografia con mezzi di contrasto;
- radiografia e radioscopia (Rx);
- stratigrafia o tomografia;
- tomografia computerizzata (TC);
- imaging a risonanza magnetica (RM);
- fluoroscopia;
- fluorangioscopia;
- angiografia;
- linfografia o linfangiografia;
- scialografia;
- isterosalpingografia;
- mammografia;
- mineralometria ossea computerizzata (MOC)
- scintigrafia;
- tomografia ad emissione di positroni (PET);
- tomografia ad emissione di fotone singolo (SPECT).

Oltre ad avere importanza fondamentale nella diagnostica, attraverso queste tecniche di imaging si possono anche effettuare terapie come nel caso della radiologia interventistica. Storicamente, alcune tecniche diagnostiche di immagine, come l'ecografia e l'imaging a risonanza magnetica, pur non essendo ottenute tramite l'emissione di radiazioni ionizzanti, fanno parte in ogni caso del corpus radiologico.

Gli strumenti fisici per la formazione delle immagini sono riportati nella Tab. 1 mentre la Tab. 2 riporta la modalità di formazione delle immagini diagnostiche.



**Tabella 1**

<b>STRUMENTI FISICI PER LA FORMAZIONE DELLE IMMAGINI</b>		
<b>RADIOLOGIA</b>	----->	<i>RAGGI-X</i>
<b>ECOGRAFIA</b>	----->	<i>ULTRASUONI</i>
<b>MEDICINA NUCLEARE</b>	----->	<i>RAGGI GAMMA</i>
<b>TOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA</b>	----->	<i>RAGGI-X</i>
<b>RISONANZA MAGNETICA</b>	----->	<i>CAMPI MAGNETICI</i>
<b>IMAGING OTTICO</b>	----->	<i>FOTONI LUMINOSI</i>

**Tabella 2**

<b>MODALITÀ DI FORMAZIONE DELLE IMMAGINI DIAGNOSTICHE</b>		
<b>RADIOLOGIA</b>	----->	<i>TRASMISSIONE</i>
<b>ECOGRAFIA</b>	----->	<i>RIFLESSIONE</i>
<b>MEDICINA NUCLEARE</b>	----->	<i>EMISSIONE</i>
<b>TOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA</b>	----->	<i>TRASMISSIONE</i>
<b>RISONANZA MAGNETICA</b>	----->	<i>ECCITAZIONE - RILASSAMENTO</i>
<b>IMAGING OTTICO</b>	----->	<i>EMISSIONE</i>

## Principi generali

I principi generali sono riassunti nella Tab. 3. Il tipo di radiazioni utilizzate sono:

- radiazioni ionizzanti: radiologia – TC – medicina nucleare;
- radiazioni non ionizzanti: ecografia – risonanza magnetica.

**Tabella 3**

<b>PRINCIPI GENERALI</b>
<p><b>IMAGING MEDIANTE RAGGI X (RADIOGRAFIA, RADIOSCOPIA, TC)</b>                      L'immagine riflette i coefficienti di attenuazione tessutale dei Raggi-X.</p>
<p><b>ECOGRAFIA</b>                      L'immagine rappresenta una mappa delle variazioni di impedenza acustica (ovvero della riflessione delle onde ultrasonore da parte dei tessuti).</p>
<p><b>MEDICINA NUCLEARE</b>                      L'immagine è la mappa della distribuzione tessutale di un radiofarmaco (molecola marcata con un radioisotopo emettitore di raggi gamma).</p>
<p><b>RISONANZA MAGNETICA</b>                      L'immagine riflette la concentrazione tessutale dei nuclei di idrogeno delle molecole di acqua, modificata da diverse proprietà magnetiche tessutali.</p>

Le informazioni ottenibili sono:

- morfologiche: radiologia – TC – ecografia – risonanza magnetica;
- funzionali: ecodoppler – medicina nucleare – RM funzionale.

## **Raggi X**

Le radiazioni elettromagnetiche ad alta energia utilizzate per rilevare immagini sono suddivise nelle seguenti tre tecniche:

- radiografia: immagini fisse (“fotografiche”);
- radioscopia: rappresentazione dinamica (cinematica);
- tomografia computerizzata (CT): immagini tomografiche (di sezioni).

Le tecniche sono:

- radiografia tradizionale: immagine “statica” ad alta risoluzione (equivalente ad una fotografia) ottenuta su una pellicola radiografica;
- radioscopia: immagine ottenuta su uno schermo fluorescente (risoluzione spaziale limitata, ma possibilità di registrare filmati);
- radiografia digitale: tecnica più moderna in cui la pellicola radiografica è sostituita da diversi tipi di rilevatori a stato solido.

Nella radiologia, l’immagine diagnostica viene ottenuta interponendo la struttura da esaminare tra un tubo radiogeno (che permette l’emissione di raggi X esclusivamente nella direzione dell’area da indagare) e un materiale sensibile alle radiazioni. La capacità trasmissione dei raggi X dipende dalla densità e dallo spessore delle strutture attraversate. Le interazioni possibili dei raggi X sono l’effetto fotoelettrico e lo scatter Compton. Nei tessuti prevale quest’ultimo. I tessuti attenuano il fascio di raggi X, formando o deviando un certo numero di raggi in misura proporzionale alla loro densità e al loro spessore. L’informazione contenuta nell’immagine è pertanto funzione dell’attenuazione. Nell’immagine radiografica tradizionale su pellicola, le strutture che “attenuano” maggiormente il fascio di raggi X (definite radioopache) appaiono chiare, mentre le strutture che si lasciano attraversare più facilmente dai raggi X (definite radio-trasparenti) appaiono proporzionalmente più scure. Nella radioscopia (“fluoroscopia”), l’immagine di trasmissione dei raggi X ottenuta su uno schermo fluorescente “in tempo reale” è utile per: il posizionamento per un successivo esame radiografico; il monitoraggio di interventi chirurgici, biopsie, cateterismi; studi funzionali di deglutizione e transito intestinale. Gli apparecchi radiografici possono essere fissi, mobili e anche portatili. Lo schema costruttivo di un apparecchio fisso prevede un tubo radiogeno con stativo, un tavolo portapaziente ed una consolle di comando (separata). L’apparecchio radiologico può anche essere dotato di tavolo ribaltabile (ortotrococlinoscopia). La radiologia digitale prevede la sostituzione della pellicola radiografica e dei sistemi “cassetta con schermi di rinforzo e pellicola” con sistemi quali:

- fluorografia digitale basata su intensificatore di immagini;

- radiografia computerizzata con fosfori fotostimolabili (PPCR – Photostimulable Phosphor Computed Radiography);
- tecnologie basate su rilevatori a selenio o silicio amorfo;
- rilevatori a pannello piatto (flat panel).

## **Ecografia**

L'ecografia (ultrasonografia) è una tecnica di diagnostica per immagini che utilizza ultrasuoni (onde mecano-elastiche) per produrre (“in tempo reale”) immagini dinamiche di sezioni delle strutture corporee.

Gli ultrasuoni sono prodotti da trasduttori (sonde) e nell'attraversare il corpo possono essere riflessi nel passaggio tra strutture ad impedenza diversa; la registrazione delle riflessioni (echi) permette la formazione delle immagini ecografiche. L'apparecchio è composto da una sonda, un monitor ed un sistema elettronico che effettua il controllo della sonda, produce gli ultrasuoni, rileva gli echi riflessi ed elabora i segnali.

Le sonde ecografiche (trasduttori) contengono cristalli piezoelettrici che producono ultrasuoni. In rapporto alle diverse esigenze diagnostiche vengono utilizzate sonde diverse. L'esame ecografico è indicato soprattutto per lo studio dei tessuti molli: addome (fegato, vie biliari, milza pancreas); apparato genitale maschile e femminile (gravidanza); cuore; muscoli-tendini, ghiandole superficiali (tiroide, salivari); occhi. L'effetto Doppler è utilizzato in ecografia per analizzare i flussi ematici perché la frequenza degli ultrasuoni riflessi, rispetto a quelli inviati sui vasi sanguigni, appare maggiore se il sangue si muove verso la sonda e minore se il sangue si allontana da essa. L'analisi dettagliata dell'effetto Doppler permette di studiare il flusso sanguigno, stabilendone velocità e regolarità nei vasi sanguigni maggiori, ma anche di analizzare i flussi sanguigni all'interno degli organi/tessuti. L'ecocardiografia permette di effettuare esami funzionali a livello cardiaco per valutare insufficienze valvolari e dei grandi vasi, ischemia, infarto, ecc. Essa utilizza onde ad alta frequenza (ultrasuoni) che, riflesse da strutture interne, producono immagini in movimento ed è in grado anche di fornire immagini tridimensionali. Utilizzando onde acustiche e non elettromagnetiche la prima caratteristica dell'ecocardiografia è l'assoluta innocuità non essendo i tessuti biologici investiti da radiazioni ionizzanti, ma soltanto da onde sonore provenienti dalla sonda. L'ecografo sfrutta il principio della riflessione delle onde (fenomeno dell'eco) e la loro differente velocità di trasmissione (relative alla densità del mezzo in cui si propagano) per costruire un'immagine tridimensionale del tessuto, oggetto dell'immagine.

In quest'immagine, parti biologiche con strutture diverse (tessuti fibrosi o adiposi o parti liquide) appaiono con una tessitura e un'intensità differenti. Diverse sono le modalità per effettuare un'ecografia, le principali sono:

- A-Mode (Amplitude Mode);
- B-Mode (Brightness Mode o modulazione di luminosità);
- B-Mode Real Time (B-Mode dinamica);
- M-Mode (TM-Mode ovvero Motion o Time Motion Mode).

L'A-Mode è una modalità di visualizzazione monodimensionale ormai in disuso, anche se ancora trova applicazioni in ambito oculistico e neurologico. Esso è il modo più semplice per rappresentare un segnale ecografico. L'eco viene rappresentato attraverso dei picchi la cui ampiezza è proporzionale all'intensità dell'eco stesso. Un'ecografia in A-Mode fornisce informazioni sulla sola natura della struttura analizzata (liquida o solida). La modalità B-Mode è quella più frequentemente utilizzata in ambito ecografico e, come nel caso della modalità A-Mode, la sua visualizzazione degli echi è di tipo monodimensionale; essi vengono rappresentati infatti sequenzialmente lungo una linea in base alla loro distanza dalla sorgente, ma la loro intensità non viene rappresentata con dei picchi, ma attraverso una scala di grigi. Il bianco rappresenta l'intensità massima (presenza di un'immagine iperecogena), mentre il nero indica l'assenza di echi (immagine ipoecogena); le sfumature intermedie rappresentano invece i diversi livelli di intensità. L'introduzione della scala di grigi per rappresentare l'intensità degli echi ha sensibilmente migliorato la qualità delle immagini ecografiche. A seconda della tecnica di scansione utilizzata, l'ecografia B-Mode può essere di tipo statico (o manuale) oppure dinamico (modalità B-Mode Real Time). La modalità Real Time può essere considerata come la naturale evoluzione della B-Mode statica. Gli ecografi che utilizzano la modalità dinamica ricostruiscono costantemente l'immagine. La modalità TM-Mode è, di fatto, una B-Mode in cui, lungo una linea di scansione fissa, si hanno refresh continui della posizione dei vari echi che non si sovrappongono a quelli precedenti (come avviene nel B-Mode Real Time), bensì si affiancano in successione, fornendo in tal modo informazioni sulla motilità della parte sotto indagine. Ogni eco viene rappresentato quindi da un punto luminoso che si sposta in base ai movimenti delle strutture che lo hanno generato.

Questa modalità viene soprattutto utilizzata in ambito ecocardiografico.

## **Mammografia**

La mammografia è una tecnica diagnostica radiologica che si basa sull'acquisizione di un'immagine della mammella effettuata ai raggi X, un tipo di radiazione che, nell'intero spettro delle radiazioni elettromagnetiche, si trova nelle bande a più alta energia (da 100 a 100.000 elettronvolt).

Lo strumento con il quale si esegue la mammografia si chiama mammografo. Lo scopo dell'esame è quello di identificare le microcalcificazioni all'interno del tessuto della mammella. Due sono le tipologie di mammografia in uso:

- mammografia analogica: l'immagine viene impressa su lastre come quelle delle normali radiografie;
- mammografia digitale: l'immagine è trasmessa direttamente al computer in tempo reale.

La mammografia digitale, rispetto a quella analogica, è più precisa. La maggior efficacia è dovuta alla possibilità, in tempo reale, di effettuare modifiche dell'angolo di visione e dei fattori di ingrandimento digitale delle immagini. La mammografia digitale è preferibile all'analogica per avere:

- minore dose di radiazioni e riduzione del numero di radiogrammi;
- maggiore sensibilità e migliore risoluzione di contrasto;
- minor numero di falsi positivi;
- esecuzione più veloce;
- archiviazione informatica e possibilità di trasmissione a distanza dei dati.

La mammografia con tomosintesi è sostanzialmente una mammografia digitale in 3D a più alta definizione con cui la mammella viene scomposta a “strati” (idealmente come un bisturi digitale) che vengono poi, sovrapposti, ricostruendo interamente la forma iniziale. È indubbio il grande vantaggio che si ha nel rilevare tumori ben celati e appena in fase iniziale con l'utilizzo di questo esame mammografico.

### **Mineralometria ossea computerizzata (MOC)**

Lo scopo della mineralometria ossea computerizzata (MOC) è quello di indagare diagnosticamente lo stato di mineralizzazione delle ossa. La MOC infatti misura la densità della massa ossea, rivelando l'eventuale presenza di una degenerazione della struttura. Essa è la tecnica diagnostica di riferimento atta a determinare una diagnosi di osteoporosi (grave patologia caratterizzata da un progressivo processo di demineralizzazione della struttura scheletrica, con un conseguente incremento del rischio di fratture). L'esame non è invasivo e si presenta sicuro in quanto l'esposizione alle radiazioni è bassissima. Esistono diverse tipologie di mineralometria ossea computerizzata:

- MOC SPA (MOC a singolo raggio fotonico);
- MOC DPA (MOC a doppio raggio fotonico);
- MOC DXA o DEXA (Dual Energy X-ray Absorptiometry – Assorbimetria a raggi X a doppia energia o densitometria ossea con tecnica di assorbimento a raggi X);
- MOC QTC (tomografia quantitativa computerizzata);
- MOC QUS (ultrasonografia quantitativa).

Fra le varie tipologie elencate, il metodo probabilmente più utilizzato per eseguire una MOC è quello che si avvale dell'utilizzo di un'apparecchiatura a raggi X (MOC DEXA), anche se sempre più frequentemente vengono preferite apparecchiature ad ultrasuoni (MOC QUS), il cui funzionamento è paragonabile a quello delle tradizionali ecografie (assenza di radiazioni). La densità ossea viene misurata stimando la differente capacità di penetrazione dei fotoni nei tessuti ed in particolare nel tessuto osseo. In linea generale, i principi su cui si basa il funzionamento delle apparecchiature utilizzate per eseguire una mineralometria ossea è abbastanza simile; sostanzialmente ci si basa sul fatto che i fasci di radiazioni, attraversando un determinato materiale, subiscono un rallentamento nella loro corsa (legge dell'attenuazione fotonica).

La scelta delle diverse tecniche dipende in parte dalla regione del corpo che si intende valutare: la MOC SPA permette la valutazione esclusiva di avambraccio e calcagno; la MOC DPA e la DXA permettono valutazioni della colonna vertebrale, femore prossimale e total body. La tecnica mineralografica ossea computerizzata DXA presenta

fra i suoi vantaggi (rispetto alle tecniche MOC SPA e MOC DPA) un minor tempo di esposizione alle radiazioni, tempi di scansione più brevi e soprattutto maggiore precisione e accuratezza.

La MOC risulta essere il principale metodo di investigazione e prevenzione per tenere sotto controllo l'evolversi dell'osteoporosi. La mineralometria ossea computerizzata DXA, tecnica attualmente più usata, pur non essendo un esame diagnostico invasivo, comporta comunque l'esposizione alle radiazioni.

La MOC QTC funziona in modo simile alla normale TAC. La MOC QUS prevede l'uso di ultrasuoni. Il suo potere diagnostico è inferiore rispetto alle precedenti tipologie di MOC; grazie ai notevoli progressi tecnologici compiuti negli ultimi anni, i dosaggi utilizzati per l'esecuzione della MOC sono così bassi che permettono la ripetizione dell'esame quando necessario, senza comportare alcun pericolo per il paziente.

Si ritiene infatti che la dose assorbita dal paziente nel corso di una MOC equivalga a circa 1/10 di quella relativa ad un esame Rx al torace. La dose assorbita corrisponde circa a un decimo della cosiddetta dose equivalente e a circa un terzo del dosaggio di radiazioni assorbite in un anno per esposizione alla radioattività naturale.

### **Isterosalpingografia**

L'isterosalpingografia (anche ISG o HSG) è un esame di tipo radiografico che si avvale dell'utilizzo di un fluoroscopio per valutare le condizioni dell'apparato riproduttivo femminile ed in particolare delle tube di Falloppio (salpingi) e della cavità uterina. La valutazione effettuata con l'isterosalpingografia non riveste carattere funzionale bensì morfologico per cui non è in grado di fornire informazioni sull'effettiva funzionalità delle salpingi. L'esame viene effettuato iniettando nell'utero (per via cervicale) un liquido opaco ai raggi X. In seguito vengono eseguite diverse radiografie il cui scopo è di documentare il passaggio della soluzione opaca iniettata attraverso la cavità uterina, le tube e l'addome. Una variante dell'isterosalpingografia è l'isterosonosalpingografia (HSSG), metodica diagnostica di più recente introduzione assolutamente innocua che consente di visualizzare le tube di Falloppio e la cavità uterina tramite l'ecografia senza ricorrere ai raggi X (ecografia transvaginale).

### **Risonanza magnetica (RM)**

La risonanza magnetica (RM), nota anche come risonanza magnetica nucleare (RMN) o come risonanza magnetica computerizzata, è un esame diagnostico relativamente recente. Il campo di applicazione della risonanza magnetica è estremamente vasto. Essa risulta particolarmente utile nel diagnosticare condizioni patologiche che riguardino: encefalo, colonna vertebrale, addome, pelvi, grossi vasi, articolazioni, ossa, tessuti molli, ecc. Le immagini che vengono ottenute grazie a questo tipo di esame sono estremamente dettagliate e in molti casi, grazie a questa tecnica, è possibile rilevare ciò che altre tecniche di indagine diagnostica non consentirebbero. È estremamente importante che la risonanza magnetica non richieda l'emissione di radiazioni ioniz-

zanti, una delle problematiche maggiori relative a tecniche come la TAC e gli esami a raggi X. Rispetto alla TAC, la RM ha una minore risoluzione nello studio delle ossa, ma è una tecnica decisamente superiore nel caso di indagini su tendini, muscoli, encefalo e colonna vertebrale. I lati negativi di questa tecnica sono essenzialmente due: 1) la sua controindicazione per portatori di pacemaker, protesi con circuiti elettronici, neurostimolatori, clips ed altri tipi di protesi; 2) il costo e la manutenzione delle sue apparecchiature.

Il principio su cui si basa il funzionamento della risonanza magnetica è decisamente complesso. Essa utilizza un magnete di notevole potenza ed un generatore radio la cui frequenza corrisponde al numero di giri che i protoni (che fanno parte dell'atomo di idrogeno (H)) compiono su sé stessi nell'arco temporale di un secondo. La scelta dell'idrogeno non è casuale; questo elemento infatti è decisamente consistente nell'organismo dell'uomo e per di più il suo segnale è ben ricevibile. Non tutti i nuclei dell'atomo ritornano alla loro posizione iniziale nello stesso periodo di tempo; questa sfasatura temporale può essere analizzata e permette di creare una mappa tridimensionale delle strutture interne del corpo umano; la risonanza magnetica inoltre è in grado di evidenziare molto bene lo stato di idratazione delle strutture analizzate. L'imaging funzionale con RM comprende diverse applicazioni quali:

- spettroscopia per lo studio di metaboliti (MRS – Magnetic Resonance Spectroscopy);
- studio della diffusione molecolare;
- studi di perfusione ematica tessutale: con sequenze veloci e somministrazione di mezzo di contrasto (DSC – Dynamic Susceptibility Contrast); con sequenze veloci sensibili alle variazioni della concentrazione di ossiemoglobina e deossiemoglobina durante i test di stimolazione (motoria, sensitiva, cognitiva) per studi di attivazione funzionale cerebrale (tecnica BOLD – Blood Oxygenation Level Dependent).

L'imaging ottico si basa sulla rilevazione di segnali luminosi quali la fluorescenza e la luminescenza ed è una tecnica più recente che fornisce informazioni funzionali. Essa è ampiamente utilizzata nello studio di modelli murini di malattie umane, perché i marcatori possono essere associati a molecole diverse per studiarne le diverse funzioni.

## **Angiografia**

L'angiografia è una tecnica diagnostica che permette di esaminare radiologicamente la morfologia e la funzionalità o eventuali alterazioni dei vasi sanguigni o linfatici di quegli organi che da essi vengono irrorati. L'apparecchio (angiografo) si avvale di piccolissimi cateteri che permettono di raggiungere per via endovascolare la zona da esaminare; grazie poi ad un mezzo di contrasto radio-opaco a base di iodio possono essere visualizzati nei particolari i vasi sanguigni e le loro diramazioni. Un'angiografia può essere effettuata per scopi diagnostici oppure utilizzata a fini terapeutici (angiografia interventistica). A scopo diagnostico è possibile rilevare eventuali alterazioni



ed il calibro dei vasi sanguigni, dimostrando eventuali presenze di stenosi, ischemie, trombosi, ectasie, aneurismi, ecc. L'angiografia interventistica offre la possibilità di effettuare interventi quali angioplastica, posizionamento di stent vascolari, sclerotizzazione di varicocele, ecc.

### **Tomografia assistita da computer (TAC)**

La tomografia assistita da computer (TAC) o tomografia computerizzata (TC) è una tipologia di indagine che si basa sulle radiazioni ionizzanti (raggi X) e consente, avvalendosi dell'aiuto di un computer, di riprodurre in modo alquanto dettagliato immagini di determinate zone del corpo umano con elaborazioni tridimensionali. Anche se la TAC sfrutta i raggi X, il procedimento di ottenimento delle immagini è diverso da quello che caratterizza l'esame radiografico tradizionale; infatti, mentre l'immagine radiografica ottenuta con quest'ultimo procedimento è praticamente il risultato della trasformazione analogica di una realtà 3D (tridimensionale) in 2D (bidimensionale), l'immagine ottenuta con la TAC subisce una trasformazione da analogica a digitale.

Un'apparecchiatura per la TAC è sostanzialmente costituita dal cosiddetto gantry (tubo radiogeno, detettori e sistema di controllo delle emissioni delle radiazioni ionizzanti), dal lettino dove viene posto il paziente e dalla workstation alla quale lavorano il tecnico e il radiologo. Nelle apparecchiature TAC tradizionali, il tubo radiogeno ruota intorno al paziente che deve essere esaminato, emettendo un fascio di radiazioni ionizzanti le quali, man mano che gli attraversano il corpo, subiscono un'attenuazione e una perdita di energia. Subito dopo l'attraversamento del corpo da esaminare, le radiazioni incidono su specifici sensori detti *detettori* che misurano l'attenuazione subita dalle radiazioni ionizzanti. I sensori a questo punto effettuano numerose misurazioni relative alle dosi di radiazioni assorbite in tutti i punti della zona scansionata; le misurazioni (i cosiddetti *raw data*, dati grezzi) vengono quindi inviate all'elaboratore di dati che, attraverso complessi algoritmi di tipo matematico, ricostruisce l'immagine tomografica; terminata la scansione il tubo radiogeno torna alla posizione originale e il lettino dove è posizionato il paziente si sposta, passando alla scansione successiva. Da tempo si utilizzano apparecchiature TAC cosiddette a spirale, una tecnica sofisticata che consente di ottenere dati relativi ad un volume corporeo e non ad uno strato così come per le tecniche tradizionali. Nella *TAC a spirale* la rotazione del tubo radiogeno, l'emissione delle radiazioni ionizzanti e gli spostamenti del lettino porta-paziente avvengono contemporaneamente.

Un'ulteriore innovazione è data dalla *TAC multistrato*. Questa è un'apparecchiatura che consente una qualità dell'immagine notevolissima, una considerevole riduzione dei tempi di esame (possibile valutare un distretto corporeo, come ad esempio l'addome, in poco meno di 20 secondi) e la possibilità di acquisire l'intero volume corporeo in un'unica sequenza. Con le nuove apparecchiature TAC, è davvero interessante poter ottenere immagini tridimensionali ed informazioni relative alla funzionalità del settore analizzato.



Di fatto, il corpo umano viene suddiviso in molti strati sub-millimetrici che, dopo una sofisticata rielaborazione tramite appositi software, vengono trasformati in immagini tridimensionali.

La TAC può essere eseguita “con o senza” mezzo di contrasto. I mezzi di contrasto sono sostanze che vengono somministrate per via orale o per iniezione endovenosa, atti a provocare il contrasto di una specifica zona rispetto a ciò che la circonda, facendo in modo che determinati dettagli risultino più nitidi e apprezzabili.

Fra i mezzi di contrasto (spesso indicati con l’acronimo MDC) più utilizzati in radiodiagnostica vi sono il bario e lo iodio. La TAC viene utilizzata per la diagnosi dei tumori, ma anche per l’individuazione di altre patologie, come quelle a carico del sistema nervoso, degli organi addominali, dell’apparato muscolo-scheletrico e grazie ai recenti sviluppi, anche per le indagini sui vasi sanguigni, sui bronchi e sulle strutture cardiache interne nonché per la visualizzazione precisa degli effetti di un trauma cranico. La TAC è diventata uno strumento fondamentale nell’analisi delle fratture e/o dei loro esiti (con essa si riesce, ad esempio, a valutare lesioni piccolissime ed è per questo che è molto utilizzata nell’individuare con notevole precisione i piccoli frammenti di frattura).

### **Scintigrafia**

La scintigrafia è una tecnica diagnostica di medicina nucleare indolore che si basa sulla introduzione, per via endovenosa, di isotopi radioattivi che si concentrano in modo particolare dove c’è una maggiore attività metabolica (come ad es. metastasi). Trascorsa qualche ora dall’introduzione della sostanza radioattiva, il paziente viene posto sotto una gamma camera che rileva i raggi emessi dagli organi in esame; sullo schermo del rivelatore a scintillazione compaiono dei punti brillanti che vengono registrati in un grafico detto *scintigramma*. La tecnica scintigrafica viene utilizzata per lo studio di diverse parti del corpo (cervello, cuore, fegato, mammella, milza, pancreas, polmone, tiroide, ecc.); i traccianti radioattivi usati cambiano a seconda dell’organo da analizzare. L’esame permette di visualizzare anche lesioni molto piccole ed è per questo che viene utilizzato nello studio e nella ricerca di tumori (particolarmente nell’individuazione di forme tumorali a carico delle ghiandole endocrine e dell’apparato scheletrico).

### **Tomografia computerizzata a emissione di fotone singolo (SPECT)**

La tomografia computerizzata a emissione di singolo fotone SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) è una tecnica di immagine che trova impiego nella diagnosi di determinate patologie (malattie coronariche, infarto, malattie neurodegenerative, epatopatie, epilessie, recidive di tumori, ecc.).

La tecnica SPECT si basa su una gamma camera che converte le radiazioni emesse da radiofarmaci (iniettati in precedenza al paziente) in emissioni luminose. La gamma camera ruota attorno al paziente fermandosi in posizioni predefinite (32 o 64) e acquisisce delle immagini che vengono rielaborate tridimensionalmente da un computer.

## **Tomografia ad emissione di positroni (PET)**

La tomografia ad emissione di positroni (PET) è una tecnica diagnostica che rientra nell'ambito della medicina nucleare; essa produce immagini del corpo tramite l'utilizzo di traccianti marcati con isotopi radioattivi (radiofarmaci). Utilizzando questi isotopi si è in grado di registrare ed elaborare le radiazioni che vengono emesse da positroni dai tessuti che si stanno analizzando. La PET, a differenza di altre metodiche d'indagine quali ad esempio la RMN e la TAC, riesce a fornire informazioni di tipo quantitativo e qualitativo dei tessuti in esame. L'ecografia, la radiografia, la TAC e la RMN forniscono interessanti informazioni morfologiche; la PET consente invece di analizzare i processi biochimici e biologici che regolano la funzionalità di organi ed apparati. Esistono anche sistemi combinati PET/TAC. La tecnica PET si è molto evoluta nel corso degli ultimi anni, ampliando il suo raggio d'azione; viene utilizzata soprattutto negli ambiti cardiologici, neurologici e oncologici. Al soggetto da sottoporre ad una tomografia ad emissione di positroni, viene somministrato un radiofarmaco (un radioisotopo tracciante legato chimicamente ad un'altra sostanza).

Utilizzando specifici traccianti, la PET consente di valutare il grado di aggressività della patologia neoplastica, verificare l'eventuale presenza di focolai metaplastici, valutare gli effetti dei trattamenti chemio-e/o radioterapici, nonché effettuare la diagnosi differenziale tra recidive neoplastiche e necrosi da terapia radiante. Il tracciante regolarmente utilizzato in oncologia è un analogo del glucosio, ovvero il fluorodesossiglucosio marcato con il fluoro -18 (è ormai stato accertato che i tessuti neoplastici in rapida crescita utilizzano il glucosio a fini energetici); grazie alla PET si può indagare il metabolismo glicidico dei tessuti tumorali in vivo, senza utilizzare modalità invasive. I sistemi PET/TAC sono apparecchiature che consistono essenzialmente nell'assemblaggio di un tomografo PET e di un tomografo TAC di ultima generazione; il sistema PET/TAC è gestito da un'unica stazione di comando. L'apparecchiatura consente di acquisire immagini PET e immagini TAC effettuando un'unica sessione di esame; ciò permette una riduzione dei tempi d'esame e di fare una diagnosi sfruttando sinergicamente le caratteristiche peculiari delle due tecnologie.

## **Imaging molecolare**

L'imaging molecolare permette la visualizzazione e la misurazione di processi biologici a livello cellulare e molecolare negli esseri viventi, con tecniche di diagnostica per immagini quali:

- medicina nucleare, PET, SPECT;
- RM funzionale, ecodoppler, ecografia con mezzi di contrasto, imaging ottico, ecc.

## **Aspetti geometrici delle immagini diagnostiche**

- Immagini planari, bidimensionali: immagini di volumi corporei (radiografia e medicina nucleare tradizionali);

- immagini tomografiche: immagini di strati del corpo (tomografia) (ecografia – TC – RM – SPECT – PET).

### **Sistemi ibridi**

I sistemi ibridi sono costituiti da apparecchi che integrano due tecniche diverse:

- PET – TC;
- SPECT – TC;
- PET – RM.

Questi sistemi hanno lo scopo di dare informazioni morfofunzionali integrate mediante coregistrazione diretta dei dati morfologici e funzionali.

### **Immagini e computer**

Un'altra classificazione delle immagini diagnostiche è:

- immagini analogiche;
- immagini digitali.

Le immagini diagnostiche sono tutte ottenute in modalità digitale, tranne una parte delle immagini radiografiche ancora ottenute in forma analogica (pellicola, sviluppo e fissaggio). Con uno scanner anche un'immagine analogica può essere digitalizzata. I vantaggi delle immagini digitali sono quelli di aver possibilità di:

- archiviazione;
- elaborazione;
- trasmissione.

Le immagini digitali possono essere archiviate anche in copie multiple, occupando spazi fisici minori rispetto alle immagini fissate su pellicola o su carta. Un archivio digitale collegato ad un efficiente sistema di registrazione delle immagini ne consente un recupero rapido per eventuali controlli anche a distanza di tempo. I supporti per l'archiviazione devono essere resistenti (CD, DVD, nastri magnetici).

Le immagini digitali possono essere sottoposte a procedure di elaborazione (post-processing), per un'analisi quantitativa del contenuto informativo (ad esempio misure di densità, angoli, aree, volumi) e per l'elaborazione di ulteriori immagini. La trasmissione può avvenire con:

- reti interne (intranet) mediante:  
PACS (Picture Archiving and Communication System);  
RIS (Radiology Information System);  
HIS (Hospital Information System).
- reti esterne (internet).

### 3. Descrizione della diagnostica per immagini

L'unità di imaging medico prevede esami radiologici diagnostici e terapeutici a supporto del processo decisionale clinico e del trattamento dei pazienti. La gamma di modalità di imaging comprende:

- imaging generale, fisso e mobile;
- sistemi di radiologia dentale/orale inclusi OPG e TC a fascio di cono;
- fluoroscopia;
- ecografia;
- mammografia, ecografia mammaria e tomosintesi mammaria (3D);
- screening del torace digitale;
- TC, inclusa TC interventistica, fluoroscopia TC, fissa e mobile;
- radiologia interventistica compresa angiografia e DSA;
- intensificazione dell'immagine, fissa (braccio a C) e mobile;
- RM.

Le modalità più comuni sono:

- imaging generale;
- fluoroscopia;
- ultrasuoni;
- CT.

Il range di pazienti varia da pazienti ambulatoriali deambulanti (in modo autonomo) a bambini e adulti in condizioni critiche. Le caratteristiche dei pazienti hanno un impatto sulle necessità della struttura, sui layout e sulle relazioni con le altre unità. Sempre più servizi di imaging medico vengono ampliati e forniti con altri servizi clinici in cui dimensioni, gamma e complessità dei servizi possono supportare modalità aggiuntive. Gli esempi includono:

- servizi satellitari nei dipartimenti di emergenza, ovvero imaging generale, TC ed ultrasuoni;
- cliniche ortopediche, ovvero imaging generale;
- servizi di medicina fetale, ovvero ultrasuoni;
- servizi di valutazione del seno.

La mole di imaging medico utilizzata nei servizi chirurgici/procedurali aumenta anche con l'uso di camere ibride, intensificatori di immagini (fissi e mobili), TC fissa e mo-

bile e, in casi selezionati, risonanza magnetica. La progettazione dell'unità deve, se del caso, soddisfare tutti i criteri necessari per raggiungere gli standard di accreditamento in materia di progettazione, sicurezza e attrezzature al fine di ottenere l'autorizzazione sanitaria prevista per legge.

## **Modelli di pianificazione**

### ***Ubicazione***

Idealmente un servizio di imaging medico dovrebbe essere ubicato adiacente ad un dipartimento di emergenza ed essere facilmente accessibile alle cliniche di cure ambulatoriali e ai pazienti ricoverati non deambulanti (trasportati sui letti/barella). La localizzazione dovrebbe prendere in considerazione anche l'eventuale futura sostituzione delle principali apparecchiature mediche ed il peso della schermatura sui carichi a pavimento. Se al piano terra della struttura non sono presenti modalità quali radiologia interventistica, TC o risonanza magnetica, sarà necessario prevedere un elevatore in grado di trasferire attrezzature pesanti e voluminose ai livelli superiori della struttura ove le predette modalità saranno contemplate. Una macchina per risonanza magnetica 3-Tesla e le relative apparecchiature possono arrivare a pesare oltre 10 tonnellate e non saranno facilmente trasferibili tramite elevatore. Le altezze delle porte non standard e le finestre smontabili possono essere necessarie per consentire il passaggio del magnete.

### ***Flusso di movimentazioni e spostamenti***

È necessario fornire un accesso diretto orizzontale o verticale tra l'unità di imaging medico e il dipartimento di emergenza per gestire un volume elevato di spostamenti da parte dei pazienti. A seconda del modello di servizio, è probabile che si verifichi un considerevole flusso di pazienti tra l'unità di imaging medico e l'ortopedia, le cliniche di cure ambulatoriali e le varie unità ospedaliere.

### ***Flessibilità***

Nella pianificazione della struttura i progettisti e gli utilizzatori dovrebbero poter considerare anche le esigenze future cui far fronte. L'unità dovrebbe idealmente essere pianificata con le zone di futura espansione già identificabili e con una progettazione flessibile per la trasformazione interna.

Laddove non siano disponibili zone di espansione, potrebbe essere necessario prendere in considerazione le opzioni per i servizi di imaging medico decentralizzato per facilitarne la crescita.

### ***Flussi di lavoro e pazienti***

L'analisi del flusso di lavoro è un tema importante alla base della pianificazione e della progettazione dell'unità di imaging medico. La disposizione dell'unità dovrebbe facilitare i flussi di lavoro ed evitare soluzioni “ad imbuto”. In teoria si supporta una

programmazione che tende a separare i flussi di lavoro per i pazienti prenotati e quelli di emergenza (ove possibile). I servizi a volume elevato, come quello relativo alle indagini ambulatoriali prenotate, possono richiedere aree di attesa e locali di servizio dedicati in prossimità dell'ingresso principale dell'unità. I flussi da prendere in considerazione includono:

- pazienti in terapia ambulatoriale programmati, inclusi pazienti in strutture di assistenza residenziale per anziani trasportati in ambulanza;
- prenotazioni programmate da unità di degenza;
- pazienti che pervengono dal dipartimento di emergenza, unità operative, unità di terapia intensiva o unità di cure ambulatoriali.

### **Aree funzionali**

L'unità di imaging medica sarà composta da zone funzionali così come indicato di seguito.

#### ***Ingresso, ricezione e attesa***

L'accesso del pubblico all'unità deve essere di facile identificazione. Le considerazioni relative ai posti a sedere devono contemplare la disposizione di pazienti con problemi di mobilità, pazienti bariatrici, pazienti su sedie a rotelle. È possibile includere un'area giochi per bambini. A meno che non vengano forniti servizi igienici nelle immediate vicinanze, è necessario che l'accesso ai servizi igienici sia all'interno delle aree di attesa dell'unità. La reception avrà la supervisione delle aree di ingresso e di attesa e sarà punto di riferimento e di controllo per il resto dell'unità. Essa dovrebbe essere progettata per garantire al paziente la privacy dovuta durante lo scambio di informazioni personali. Nelle unità di grandi dimensioni, può essere preferibile limitare il numero di pazienti nell'area di attesa principale, indirizzandoli nelle aree di attesa secondarie dopo la loro registrazione. La dimensione della sala d'attesa dipenderà dall'attività ambulatoriale. Laddove questa attività sia fornita di servizi satellitari, i dipartimenti principali potrebbero richiedere meno spazio di attesa. Le aree di attesa secondaria possono anche essere utilizzate per specialità ad alta affluenza (come ad esempio ortopedia), dove potrebbe essere richiesto ai pazienti di eseguire l'imaging prima del ricovero e/o una prenotazione in clinica. Un facile accesso ad un distributore d'acqua è fondamentale anche per quei pazienti che sono tenuti a bere grandi quantità di acqua in attesa di sottoporsi a procedure ecografiche.

#### ***Area di detenzione/recupero dei pazienti***

Si rende necessaria un'area di detenzione/recupero dei pazienti in cui saranno tenuti i pazienti allettati:

- prima e dopo un esame di imaging;
- per essere preparati ad un esame o ad una procedura o semplicemente per riprendersi dopo averli effettuati.

Il numero di alloggiamenti necessari dipende dal numero e dalla combinazione delle modalità di imaging.

Ad esempio, la radiologia interventistica, la TC e la RM possono richiedere preparazione e recupero.

I pazienti ricoverati e quelli che frequentano il servizio provenienti da altri ospedali e/o da strutture di assistenza residenziale per anziani dovranno essere tenuti nell'area preposta prima e dopo gli esami.

L'area di detenzione/recupero del paziente sarà posizionata in prossimità delle sale di imaging in modo che sia ottimale il loro trasferimento. All'interno di quest'area (munita di servizi) i pazienti saranno supervisionati da una postazione dedicata al personale che dovrà poter accedere a locali di deposito del pulito e dello sporco, locali biancheria e un vano bevande. Questi locali possono essere condivisi da altro personale provenienti da altre aree della stessa unità, ma saranno di routine necessari al personale infermieristico che lavora nell'area di detenzione/recupero pazienti.

### ***Aree delle diverse modalità cliniche***

#### *Aree di colloquio/consultazione*

Alcune sale sono richieste per la valutazione del paziente da parte del personale medico e tecnico, per fornire informazioni sulla procedura e per il consenso. Queste sale dovrebbero essere facilmente accessibili dalle sale di imaging, inclusi TC, risonanza magnetica e fluoroscopia.

#### *Sale di imaging*

Le sale di imaging sono generalmente raggruppate in un reparto dove possono condividere un adeguato supporto sia radiologico che al paziente. Ad esempio:

- sale per radiografia generale e screening (fluoroscopia);
- ecografia e mammografia;
- radiologia interventistica (DSA e angiografia);
- TC e ove previsto, risonanza magnetica.

Le sale selezionate avranno bisogno di una sala di controllo (ad esempio TC, risonanza magnetica, fluoroscopia e radiologia interventistica). Queste sale saranno posizionate accanto alla sala imaging e configurate in modo che il paziente possa essere supervisionato durante tutta la procedura. Laddove un'unità di imaging medica sia collocata presso un dipartimento di emergenza, saranno ivi localizzate radiologie generali e TC, in modo da essere immediatamente fruibili per le emergenze. I tecnici di radiologia stazioneranno in alcune sale di imaging, ad esempio radiografia e mammografia munite di consolle, mentre le immagini saranno manipolate sullo schermo. Laddove venga utilizzata la radiologia computerizzata (CR), si accederà ad un piccolo processore da tavolo, posizionato in un'area di lavoro condivisa, in cui i tecnici di radiologia possano accedere ai computer, gestire il carico di lavoro e colloquiare tra loro. Potrebbe anche

essere necessario collocare le apparecchiature e i sistemi informatici richiesti per supportare modalità selezionate.

Questo dipenderà dalla lunghezza dei cavi e dalla tecnologia prescelta.

### *Supporto clinico*

Per supportare le attività di imaging medico è necessario un ampio spazio. L'acquisizione delle immagini viene sempre più effettuata presso il punto di cura, di solito da una consolle all'interno della sala di imaging o da una sala di controllo collegata. La post-elaborazione sarà necessaria per le modalità come TC e MRI di cui il tecnico ha necessità di organizzare le immagini generate. Questo lavoro può essere svolto in uno spazio separato all'interno del reparto in quanto richiede tempo e concentrazione. Di solito è necessaria una workstation per la modalità richiesta. Gli ecografisti richiederanno inoltre spazio per rivedere e organizzare le immagini, cosa che non avviene all'interno della sala. A seconda della modalità di immagini (ad esempio TC, risonanza magnetica e radiologia interventistica) dovrebbero essere fornite delle camere per le relazioni in cui il team clinico possa discutere casi clinici complessi (ad es. trauma). La maggior parte dei rapporti verrà comunque effettuata in un'altra postazione all'interno dell'unità. Nei centri di più ampie dimensioni, è d'uopo prevenire lo spazio necessario al radiologo che gli permetta anche di affiancare un collega o un medico interno e/o studenti di medicina. Sarà necessario prevedere uno spazio dedicato ai tecnici di radiologia affinché possano svolgere una serie di attività con adeguate strumentazioni che di solito prevedono una workstation diagnostica completamente attrezzata per il controllo qualità.

Questo spazio sarà identificato e reso fruibile nelle stanze vicine all'imaging in modo da ottimizzarne la produttività. Alcuni fornitori o consulenti IT possono utilizzare l'accesso in remoto per fornire la diagnostica e la manutenzione del software delle apparecchiature di imaging e delle workstation. Il sistema dovrebbe quindi essere configurato per facilitare l'accesso al PACS tramite mezzi esterni.

I dipartimenti più ampi avranno personale dedicato a mantenere il sistema PACS e di conseguenza necessiteranno di ulteriori spazi per uffici. L'archiviazione su pellicola può essere eliminata con il sistema PACS. I pazienti possono comunque portare con sé precedenti immagini radiografiche.

Sebbene possa essere necessario conservare una serie di immagini per periodi più lunghi (in conformità con i requisiti dei regolamenti statali), non è necessario che queste siano archiviate all'interno dell'unità.

Le immagini da conservare per scopi didattici e di ricerca possono essere custodite in un archivio, sebbene sempre più queste immagini vengano digitalizzate. Saranno necessarie aree di laboratorio anatomico-patologico in prossimità di aree in cui si eseguono procedure interventistiche per poter effettuare biopsie e drenaggi in corso di intervento. Queste includono TC, ultrasuoni e mammografia.

Lo stoccaggio delle apparecchiature includerà spazi per le apparecchiature utilizzate su base regolare (ad esempio paranco mobile) e locali per attrezzature specialistiche



che potrebbero essere utilizzate raramente, come ad esempio poltrone specialistiche per patologia del linguaggio con deglutizione di bario, sostegni e supporti per procedure ortopediche. Sarà necessario anche prevedere un alloggiamento per un carrello per rianimazione. Le modalità mobili sono generalmente gestite all'interno di una sala radiologica o in un laboratorio inserito in grandi reparti. I materiali di consumo e i farmaci clinici saranno conservati in una sala per medicazioni che deve essere posizionata presso l'area di trattenimento/recupero del paziente. Sarà necessario altro spazio per ospitare grandi quantità di mezzi di contrasto. Il numero di locali generici necessari dipenderà dal numero e dalla tipologia di modalità di imaging nell'unità. Il posizionamento di queste stanze deve ridurre al minimo i percorsi del personale e devono essere pertanto ubicate vicino alle sale di screening (fluoroscopia) e alle sale di mantenimento/recupero del paziente. Altre sale di supporto includeranno locali per lo smaltimento e locali per la pulizia da condividere, se del caso, con un dipartimento adiacente, a seconda delle dimensioni dell'unità.

#### *Aree del personale – Spazio e servizi dell'ufficio*

A seconda delle dimensioni e dell'ubicazione dell'unità e della collocazione con le unità adiacenti, il personale dovrà avere accesso a:

- sale riunioni per supportare una serie di attività del personale tra cui riunioni di gestione, istruzione e ricerca;
- spazi per uffici in accordo alla costituzione del personale e ai ruoli di insegnamento/ricerca. Idealmente, il personale principale come il direttore medico, il tecnico di radiologia responsabile e il responsabile dell'unità infermieristica devono trovarsi nelle immediate vicinanze in modo che la gestione dell'unità possa essere efficacemente coordinata;
- servizi per il personale, tra cui: stanza per il personale; servizi igienici; spogliatoi e armadietti. Gli armadietti devono essere collocati in un'area sicura.

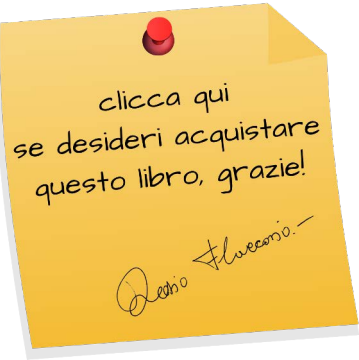
L'accesso ad una grande sala riunioni o nelle sale conferenze può essere richiesto nei dipartimenti più grandi per le conferenze multidisciplinari. Le sale dovrebbero includere l'accesso al PACS, la visualizzazione delle immagini patologiche e la tele-radiologia.

### **Rapporti funzionali**

#### ***Esterno***

L'unità di imaging medico in genere intrattiene relazioni funzionali con altri servizi, tra cui:

- accesso diretto al pronto soccorso;
- accesso immediato alle cliniche di cure ambulatoriali, in particolare alle cliniche ortopediche e chirurgiche;
- facile accesso, tramite collegamenti orizzontali o verticali a:



clicca qui  
se desideri acquistare  
questo libro, grazie!

*Diego Fusconi*