

a cura di
Lorenzo Faggioni
Fabio Paolicchi
Emanuele Neri

Elementi di tomografia computerizzata



Presentazione a cura di
Davide Caramella

 Springer

Imaging & formazione

Elementi di tomografia computerizzata

Lorenzo Faggioni · Fabio Paolicchi · Emanuele Neri (a cura di)

Elementi di tomografia computerizzata

Presentazione a cura di
Davide Caramella

 Springer

a cura di

Lorenzo Faggioni

Radiologia Diagnostica e Interventistica
Dipartimento di Oncologia, dei Trapianti
e delle Nuove Tecnologie in Medicina
Università di Pisa

Emanuele Neri

Radiologia Diagnostica e Interventistica
Dipartimento di Oncologia, dei Trapianti
e delle Nuove Tecnologie in Medicina
Università di Pisa

Fabio Paolicchi

Sezione RX Universitaria
Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana

ISBN 978-88-470-1696-5

e-ISBN 978-88-470-1697-2

DOI 10.1007/978-88-470-1697-2

© Springer-Verlag Italia 2010

Quest'opera è protetta dalla legge sul diritto d'autore, e la sua riproduzione è ammessa solo ed esclusivamente nei limiti stabiliti dalla stessa. Le fotocopie per uso personale possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni per uso non personale e/o oltre il limite del 15% potranno avvenire solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da AIDRO, Corso di Porta Romana n. 108, Milano 20122, e-mail segreteria@aidro.org e sito web www.aidro.org.

Tutti i diritti, in particolare quelli relativi alla traduzione, alla ristampa, all'utilizzo di illustrazioni e tabelle, alla citazione orale, alla trasmissione radiofonica o televisiva, alla registrazione su microfilm o in database, o alla riproduzione in qualsiasi altra forma (stampata o elettronica) rimangono riservati anche nel caso di utilizzo parziale. La violazione delle norme comporta le sanzioni previste dalla legge.

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

Responsabilità legale per i prodotti: l'editore non può garantire l'esattezza delle indicazioni sui dosaggi e l'impiego dei prodotti menzionati nella presente opera. Il lettore dovrà di volta in volta verificarne l'esattezza consultando la bibliografia di pertinenza.

9 8 7 6 5 4 3 2 1

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

Realizzazione editoriale: Scienzaperta S.r.l., Novate Milanese (MI)

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

Stampato in Italia

Springer-Verlag Italia S.r.l., Via Decembrio 28, I-20137 Milano

Springer fa parte di Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Presentazione

È per me davvero un piacere presentare il bel libro *Elementi di tomografia computerizzata*, che è il frutto dell'intelligente fatica di un Radiologo senior, un Radiologo junior e un validissimo Tecnico di Radiologia appartenenti al nostro gruppo.

Gli Autori condividono una quotidiana esperienza di lavoro nelle diagnostiche dell'Ospedale Universitario Pisano e hanno messo insieme in modo coerente e didatticamente molto efficace un testo che contiene tutte le notizie essenziali per operare allo stato dell'arte in Tomografia Computerizzata.

La loro idea non è stata quella di produrre un manuale illeggibile se non per superesperti, hanno piuttosto realizzato un'articolata introduzione alla tecnologia TC, riassumendone le tappe storiche e arrivando a coprire le ultime innovative applicazioni.

In questo libro studenti, tecnici, medici e radiologi potranno trovare risposte alle domande legate al funzionamento di una modalità oggi quarantenne, ma che non dimostra affatto la sua età.

La trattazione degli argomenti è rigorosa ma concisa, le problematiche più ardue sono affrontate con autorevolezza e in modo semplice e chiaro, facendo di questo libro un supporto didattico indispensabile per tutti coloro che lavorano in TC.

Un aspetto che gli Autori hanno voluto approfondire in dettaglio è quello relativo alla dose. Sappiamo infatti che allo spettacolare successo delle applicazioni cliniche della TC si oppongono crescenti preoccupazioni riguardo la dose erogata ai pazienti.

Ebbene, nel libro ciascuno potrà trovare le informazioni essenziali sui metodi per misurare la dose in TC e soprattutto sulle procedure che devono vedere il medico e il tecnico collaborare per ridurre la dose complessiva erogata, grazie all'ottimizzazione di tutte le fasi dell'esame.

Auguro ai lettori di leggere questo libro con la stessa soddisfazione che ho visto negli Autori mentre erano impegnati in questo duro lavoro "parallelo" rispetto alla loro attività assistenziale principale.

Pisa, maggio 2010

Daide Caramella
Direttore Sezione RX Universitaria
Dipartimento di Oncologia, dei Trapianti
e delle Nuove Tecnologie in Medicina
Università di Pisa

Prefazione

L'avvento della tomografia computerizzata ha rivoluzionato la diagnostica per immagini negli ultimi trent'anni, consentendo di ottenere una visione analitica di sezioni del corpo umano, superando la visualizzazione additiva e proiettiva della radiologia convenzionale.

Questo volume si propone di illustrare le basi fisiche e tecniche della TC nelle sue diverse implementazioni tecnologiche, descrivendone in maniera sistematica le caratteristiche e i rispettivi campi di applicazione. Nel libro vengono ripercorse le tappe storiche dell'evoluzione della TC, a partire dai primi modelli di TC sequenziale fino all'introduzione degli apparecchi TC spirale e multistrato. Vengono spiegati i principi fisici della generazione delle immagini TC e viene discussa la loro realizzazione tecnica sulle varie tipologie di scanner TC, evidenziandone punti di forza e svantaggi. Sono poi illustrati le caratteristiche delle immagini TC (intese come particolare tipologia di immagini digitali) e i principali algoritmi per la loro elaborazione; vengono infine trattati le proprietà e l'uso dei mezzi di contrasto in TC e mostrate le applicazioni della TC in campo medico-nucleare e radioterapico.

Particolare attenzione viene posta alla problematica della dose radiante in TC e alle tecniche volte a ridurla il più possibile pur mantenendo una sufficiente qualità diagnostica, nell'ambito del principio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*): ora che i moderni scanner TC sono in grado di offrire altissime risoluzioni spaziali e temporali con tempi di acquisizione assai ridotti, il contenimento della dose radiante è diventato una questione di grande attualità e rappresenta sicuramente uno dei principali obiettivi delle case produttrici e, a nostro avviso, una tematica alla quale chi apprende o già si occupa di TC – tecnici di radiologia, medici, fisici sanitari – deve essere adeguatamente sensibilizzato.

Gli argomenti vengono trattati in maniera concisa, cercando tuttavia di preservare il rigore e l'ordine logico dell'esposizione: in particolare, abbiamo scelto di tralasciare la trattazione puntuale di dettagli a nostro avviso non essenziali in un testo didattico (per i quali si rimanda comunque a opere specifiche), privilegiando invece la spiegazione sistematica del rationale delle varie soluzioni tecnologiche e diagnostiche. Ciò allo scopo di offrire una presentazione il più possibile lineare ed esaustiva di una materia complessa, ma sempre più attuale nella sua continua evoluzione, qual è appunto la TC nelle sue moderne implementazioni e applicazioni.

Pisa, maggio 2010

Lorenzo Faggioni
Fabio Paolicchi
Emanuele Neri

Indice

1	Cenni storici sulla tomografia computerizzata	1
	Fabio Paolicchi, Lorenzo Faggioni, Davide Caramella	
	Bibliografia	6
2	Principali componenti di uno scanner TC	7
	Simona Del Corona, Silvia Cavaliere, Cristiana Baggiani	
	2.1 Requisiti strutturali e tecnologici di una sala di TC	7
	2.2 Componenti di uno scanner TC	8
	Bibliografia	17
3	Principi della TC convenzionale e della TC spirale	19
	Fabio Paolicchi, Lorenzo Faggioni, Riccardo Lazzarini	
	3.1 La formazione dell'immagine in TC	19
	3.2 Principi fisici della formazione dell'immagine	20
	3.3 Evoluzione tecnologica dei sistemi TC	26
	3.4 TC spirale	29
	Bibliografia	34
4	TC multistrato	35
	Lorenzo Faggioni, Riccardo Lazzarini, Emanuele Neri	
	4.1 Dalla TC spirale monodetettore alla TCMS: la TC a doppio strato	35
	4.2 Acquisizione delle immagini nella TCMS	36
	4.3 Vantaggi della TCMS rispetto alla TC spirale monostrato	42
	Bibliografia	48
5	Caratteristiche di base delle immagini TC	49
	Lorenzo Faggioni, Fabio Paolicchi, Mercedes Marinelli	
	5.1 Matrice di ricostruzione, voxel e pixel	49
	5.2 Descrittori di qualità delle immagini TC	50
	Bibliografia	58

6	Tecniche di elaborazione delle immagini	59
	Lorenzo Faggioni, Riccardo Lazzarini, Fabio Paolicchi	
6.1	Ricostruzione multiplanare (<i>Multiplanar Reformation, MPR</i>)	60
6.2	Proiezione di massima intensità (<i>Maximum Intensity Projection, MIP</i>)	64
6.3	Rendering volumetrico (<i>Volume Rendering, VR</i>)	68
6.4	Rappresentazione di superficie (<i>Shaded Surface Display, SSD</i>)	71
6.5	Endoscopia virtuale (<i>Virtual Endoscopy, VE</i>)	72
	Bibliografia	74
7	Parametri di scansione e artefatti in TC	75
	Riccardo Lazzarini, Fabio Paolicchi, Lorenzo Faggioni	
7.1	Parametri di acquisizione	75
7.2	Parametri di ricostruzione	82
7.3	Parametri di visualizzazione	84
7.4	Principali artefatti delle immagini TC	85
	Bibliografia	92
8	Cardio-TC e TC dual source	93
	Lorenzo Faggioni, Francesca Cerri, Davide Giustini	
8.1	Cardio-TC	93
8.2	TC dual source	99
	Bibliografia	104
9	La dose in TC: descrittori e tecniche di riduzione	107
	Fabio Paolicchi, Davide Caramella, Franco Perrone	
9.1	Introduzione	107
9.2	Unità di misura ed effetti biologici delle radiazioni	109
9.3	Descrittori di dose in TC: MSAD, CTDI e DLP	111
9.4	Fattori che determinano la dose in TC	117
	Bibliografia	125
10	Controlli di qualità	127
	Franco Perrone, Fabio Picchi	
10.1	Controllo di qualità	127
10.2	Programma di controllo di qualità per apparecchi TC	129
10.3	Prove per il controllo di qualità	129
	Bibliografia	138
11	I mezzi di contrasto in TC	139
	Lorenzo Faggioni, Sabina Giusti, Elisa Orsi	
11.1	Classificazione dei mezzi di contrasto	139
11.2	Mezzi di contrasto intravascolari-interstiziali (uro-angiografici)	140
11.3	Mezzi di contrasto intraluminari	146
	Bibliografia	147

12	La TC in medicina nucleare	149
	Duccio Volterrani, Oreste Sorace, Daniele Fontanelli	
12.1	Tomografi ibridi PET/TC e SPECT/TC	149
12.2	Protocolli diagnostici	154
	Bibliografia	163
13	La TC in radioterapia	165
	Lucia R. Fatigante, Marco Panichi	
13.1	Introduzione	165
13.2	Ruolo della TC nella pianificazione del trattamento radioterapico	166
13.3	Impiego della TC nelle procedure di controllo del trattamento radioterapico	174
	Bibliografia	176
14	Sviluppi futuri in TC	177
	Fabio Paolicchi, Lorenzo Faggioni, Emanuele Neri	
14.1	Introduzione	177
14.2	La TCMS: oltre 64 strati	178
14.3	Flat panel CT	180
14.4	La dose radiante: la vera sfida dei prossimi anni	183
	Bibliografia	184

Elenco degli Autori

Cristiana Baggiani

Sezione RX Universitaria
Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana

Davide Caramella

Radiologia Diagnostica e Interventistica
Dipartimento di Oncologia, dei Trapianti
e delle Nuove Tecnologie in Medicina
Università di Pisa

Silvia Cavaliere

U.O. Radiodiagnostica 2
Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana

Francesca Cerri

Radiologia Diagnostica e Interventistica
Dipartimento di Oncologia, dei Trapianti
e delle Nuove Tecnologie in Medicina
Università di Pisa

Simona Del Corona

U.O. Neuroradiologia
Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana

Lorenzo Faggioni

Radiologia Diagnostica e Interventistica
Dipartimento di Oncologia, dei Trapianti
e delle Nuove Tecnologie in Medicina
Università di Pisa

Lucia R. Fatigante

U.O. Radioterapia
Dipartimento di Oncologia, dei Trapianti
e delle Nuove Tecnologie in Medicina
Università di Pisa

Daniele Fontanelli

U.O. Medicina Nucleare Universitaria
Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana

Sabina Giusti

Radiologia Diagnostica e Interventistica
Dipartimento di Oncologia, dei Trapianti
e delle Nuove Tecnologie in Medicina
Università di Pisa

Davide Giustini

Sezione RX Universitaria
Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana

Riccardo Lazzarini

U.O.C. Radiologia
AUSL 12 Viareggio (Lucca)

Mercede Marinelli

U.O. Radiodiagnostica 1 Universitaria
Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana

Emanuele Neri

Radiologia Diagnostica e Interventistica
Dipartimento di Oncologia, dei Trapianti
e delle Nuove Tecnologie in Medicina
Università di Pisa

Elisa Orsi

U.O. Radiodiagnostica
AUSL 2 Lucca

Marco Panichi

U.O. Radioterapia
Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana

Fabio Paolicchi

Sezione RX Universitaria
Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana

Franco Perrone

Fisica Sanitaria
Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana

Fabio Picchi

Fisica Sanitaria
Azienda Ospedaliero-Universitaria Pisana

Oreste Sorace

Istituto di Fisiologia Clinica
C.N.R. Pisa

Duccio Volterrani

U.O. Medicina Nucleare Universitaria
Dipartimento di Oncologia, dei Trapianti
e delle Nuove Tecnologie in Medicina
Università di Pisa

Cenni storici sulla tomografia computerizzata

1

F. Paolicchi, L. Faggioni, D. Caramella

La tomografia computerizzata (TC) rappresenta una delle principali innovazioni mediche degli ultimi quarant'anni. Dalla sua introduzione, avvenuta nel 1972, la TC si è trasformata in uno strumento indispensabile per l'imaging diagnostico in una molteplicità di applicazioni cliniche. Dai pionieristici tomografi degli anni Settanta siamo giunti alle moderne TC multistrato, in grado di produrre con brevissimi tempi di acquisizione immagini di elevata qualità dell'intero distretto corporeo, fornendo informazioni di tipo sia anatomico sia funzionale, impensabili fino a pochi anni fa.

Il principio su cui si basa la TC ha origine dal lavoro del matematico austriaco Johann Radon, che nel 1917 dimostrò la possibilità di ricostruire un oggetto tridimensionale mediante un numero infinito di proiezioni bidimensionali dell'oggetto stesso [1]. Tale teoria, modificata per un numero finito di proiezioni, è stata utilizzata in numerosi campi, dall'astronomia alla microscopia elettronica, ma inizialmente non fu ideata per scopi medici [2]. Occorre, infatti, arrivare agli anni Sessanta per trovare le prime applicazioni in campo medico delle teorie matematiche sulla ricostruzione di oggetti tridimensionali mediante acquisizione tomografica. Nel 1961 il neurologo William H. Oldendorf studiò la possibilità di produrre immagini mediante proiezioni ottenute con una fonte di raggi gamma generata dall'isotopo ^{131}I : Oldendorf utilizzò un detettore a scintillazione per misurare l'intensità della radiazione trasmessa attraverso un oggetto che ruotava tra la sorgente e il detettore [3]. In precedenza, verso la metà degli anni Cinquanta, il fisico Allan Cormack si era interessato alla variazione, durante i trattamenti radioterapici, della distribuzione di dose causata dalla disomogeneità dei tessuti: egli comprese che tali variazioni potevano essere previste conoscendo i coefficienti di attenuazione delle zone interessate. Nel 1957 Cormack si trasferì alla Tufts University di Boston e riprese il suo lavoro sull'imaging proiettivo solo nel 1963, quando ripeté le misurazioni utilizzando un nuovo dispositivo. Mediante un oggetto test asimmetrico, egli riuscì a ottenere una distribuzione altamente accurata dei coefficienti di attenuazione dell'oggetto, misurati attraverso proiezioni angolari intervallate di 7° [4]. I risultati, pubblicati sulla rivista *Physics Review*, passarono tuttavia quasi inosservati; solo tra la fine degli anni Sessanta e l'inizio degli anni Settanta, diversi gruppi di ricerca iniziarono a occuparsi di imaging tomografico come possibile strumento utile per la diagnosi e il planning radioterapico.

La transizione dell'imaging proiettivo da semplice curiosità sperimentale a vera e propria applicazione clinica è stata resa possibile, in gran parte, dal lavoro di una sola

persona: l'ingegnere inglese Godfrey Hounsfield. Questi, conseguita la laurea in ingegneria meccanica, entrò nel 1951 a far parte dello staff della EMI (Electrical Music Industries), dove iniziò a lavorare su progetti inerenti la tecnologia dei computer, giungendo allo sviluppo di EMIDEC 1100, il primo computer a diffusione commerciale prodotto in Gran Bretagna. In seguito Hounsfield iniziò a interessarsi alle tecniche di ricostruzione delle immagini mediante computer. Egli ipotizzò che fosse possibile ottenere informazioni sulle strutture interne di un oggetto facendolo attraversare da un fascio di raggi X da molteplici direzioni e misurando l'attenuazione di tutte le proiezioni. Hounsfield riuscì a risolvere questa complessa sfida fisico-matematica senza conoscere il lavoro svolto in precedenza da Radon e da Cormack.

Sostenuto dalle strutture governative inglesi, e favorito dagli introiti che negli stessi anni la EMI otteneva per il successo planetario dei Beatles [5], nel 1967 Hounsfield mise a punto il primo tomografo sperimentale, costituito da una sorgente di ^{241}Am e da un detettore di materiale scintillante montati su un dispositivo che consentiva movimenti sia di traslazione sia di rotazione. A causa della bassa intensità della radiazione emessa dall'isotopo ^{241}Am , questo dispositivo necessitava di circa nove giorni per acquisire l'oggetto; nella fase successiva un computer impiegava 2,5 ore per elaborare e ricostruire le 28 000 misurazioni raccolte dal detettore. Per aumentare l'intensità delle radiazioni, Hounsfield decise di ripetere l'esperimento sostituendo il ^{241}Am con un tubo a raggi X, e riuscì a ridurre il tempo di acquisizione da 9 giorni a 9 ore. Con questo nuovo dispositivo Hounsfield produsse immagini di numerose specie animali, che presentavano una capacità di risoluzione dei tessuti di densità simili decisamente superiore a quella ottenibile con le tecniche radiografiche tradizionali. Incoraggiato dai buoni risultati ottenuti, l'ingegnere inglese decise di progettare un tomografo da utilizzare sugli esseri umani; scelse di esaminare l'encefalo, in quanto i movimenti fisiologici caratteristici della regione toraco-addominale avrebbero reso difficile la produzione di immagini, a causa degli elevati tempi di acquisizione.

Il prototipo di TC, denominato EMI Mark 1, fu costruito in gran segreto nel reparto radiologico dell'Atkinson Morley Hospital di Londra; nell'ottobre del 1971 fu prodotta la prima immagine di un encefalo, dalla quale risultava chiaramente la presenza di una lesione tumorale nel lobo frontale [6]. Il prototipo, basato su movimenti di traslazione e rotazione del complesso tubo radiogeno-detettore, produceva un'immagine su una matrice di 80×80 con una risoluzione spaziale di 0,5 cm, e richiedeva per l'acquisizione e la ricostruzione di ciascuna fetta, rispettivamente, 4 e 7 minuti (Fig. 1.1). Nel 1972 furono sottoposti a esame tomografico ben 70 pazienti e i risultati furono presentati al congresso annuale del British Institute of Radiology di Londra; nello stesso anno, i risultati ottenuti furono pubblicati su un articolo del *London Times* e l'entusiasmo per questa nuova tecnica diagnostica crebbe notevolmente. La EMI decise di produrre cinque nuovi scanner, che furono immediatamente acquistati da quattro ospedali inglesi e da uno americano, e ben presto ricevette numerosi nuovi ordini.

Il primo tomografo in grado di acquisire il distretto toraco-addominale fu prodotto dalla Pfizer nel 1973 e installato nell'ospedale di Georgetown: tale tomografo, chiamato ACTA (*Automatic Computerized Transverse Axial*), produceva immagini su una matrice di 256×256 e utilizzava, come lo strumento messo a punto da Hounsfield, una combinazione di movimenti di traslazione e rotazione (Fig. 1.2) [7]. I movimenti fisiologici del distretto toraco-addominale rappresentavano, tuttavia, un forte limite nell'acquisizione delle immagini. Successivamente, la EMI presentò un nuovo modello di scanner

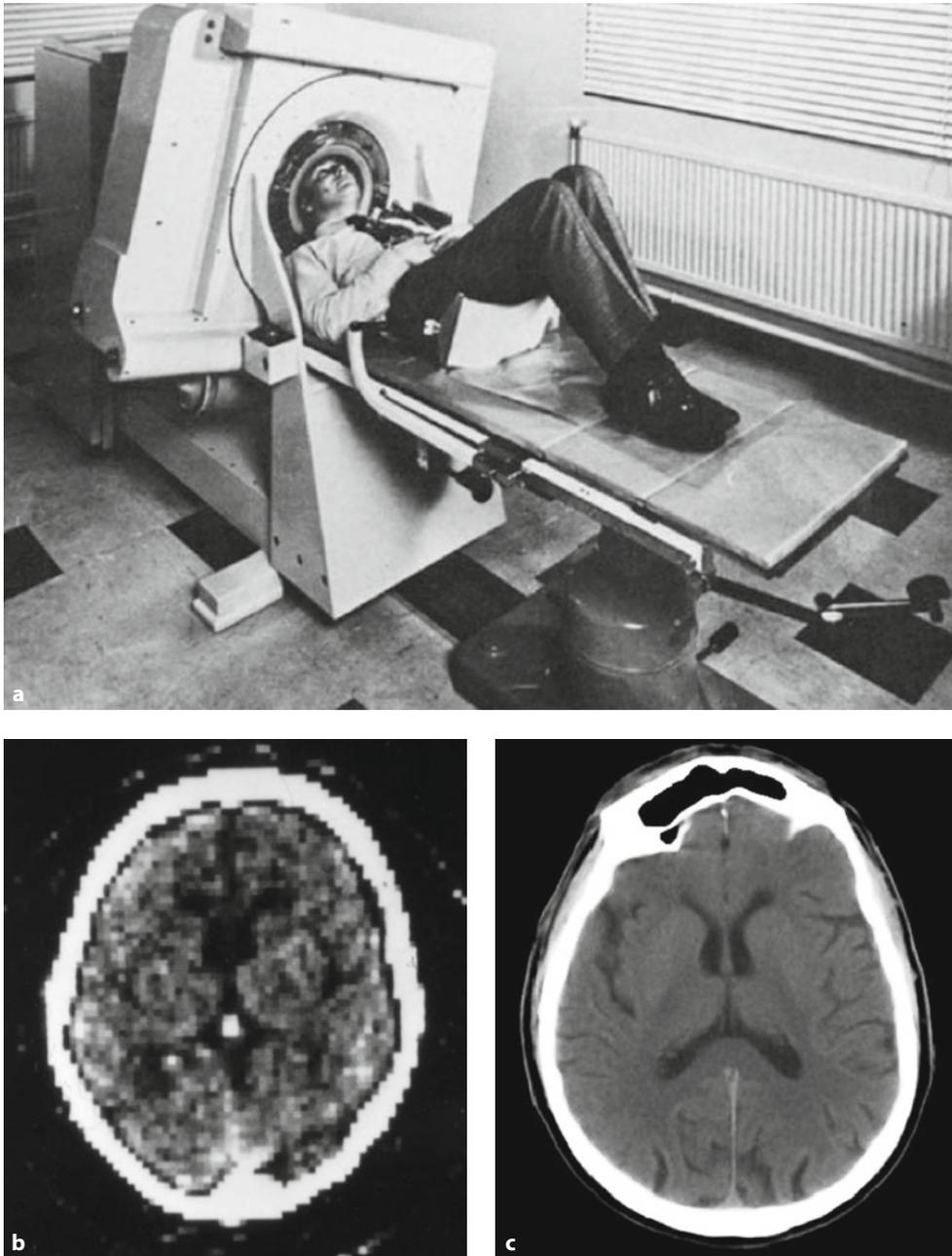


Fig. 1.1 a Il primo tomografo computerizzato per lo studio del cranio prodotto dalla EMI nel 1973. b Immagine di una sezione assiale di encefalo prodotta dal tomografo EMI Mark 1 con una matrice di 80×80 pixel. c Immagine di una sezione di encefalo prodotta da un moderno apparecchio TCMS a 64 strati con una matrice di 512×512 pixel



Fig. 1.2 Il primo scanner total body, ACTA (*Authomatic Computerized Transverse Axial*) prodotto dalla Pfizer nel 1973 con il suo ideatore Robert Ledley. (riprodotta da Sittig et al. [8] con l'autorizzazione di BMJ Publishing Group Ltd.)

tomografico, caratterizzato dalla presenza di due detettori di scintillazione in grado di acquisire due immagini per ciascuna rotazione, riducendo così il tempo di acquisizione a circa 20 secondi e fornendo immagini di qualità superiore rispetto a quelle del tomografo ACTA prodotto dalla Pfizer.

I proprietari della casa inglese si resero comunque conto che, con il passaggio da una fase prettamente di ricerca a una di commercializzazione, non avrebbero avuto la capacità di gestire un prodotto che si collocava in un mercato diverso da quello loro familiare. Decisero quindi di proporre alla multinazionale statunitense General Electric (GE) di distribuire per la EMI gli scanner tomografici; non ponendo particolare fiducia nello sviluppo di questa tecnologia, la General Electric rifiutò l'offerta. Ma a distanza di soli due anni, in seguito al grande successo conseguito dalla EMI negli Stati Uniti, la General Electric si rese conto di aver sottovalutato l'enorme potenziale della TC e in un solo anno produsse un nuovo prototipo in grado di ridurre il tempo di acquisizione a pochi secondi.

Nel 1979 Cormack e Hounsfield vinsero il premio Nobel per la scoperta della TC (Fig. 1.3). Verso la fine degli anni Settanta lo sviluppo tecnologico della TC sembrava aver raggiunto il suo picco e nel successivo decennio non vi furono progressi di rilievo. Fu con l'introduzione della tecnologia *slip ring* (avvenuta nel 1989 e illustrata nei prossimi capitoli) e l'ulteriore sviluppo tecnologico dei vari componenti, che la TC suscitò un rinnovato e forte interesse per le possibili applicazioni aggiuntive in ambito medico.



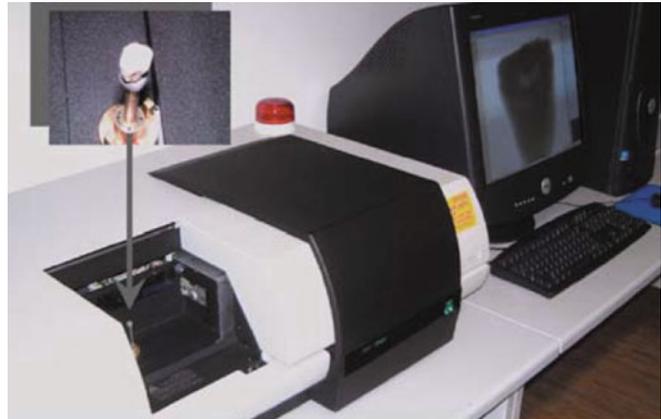
Fig. 1.3 Allan Cormack e Godfrey Hounsfield, vincitori del premio Nobel del 1979 per lo sviluppo della tecnologia TC

Tabella 1.1 Principali eventi storici della tomografia computerizzata

Anno	Evento
1917	Radon formula i principi matematici per la ricostruzione delle immagini TC
1963	Cormack descrive una metodica per il calcolo della distribuzione dell'attenuazione dei tessuti del corpo umano
1972	Hounsfield effettua i primi esami TC su encefalo
1975	Prima TC total body
1979	Hounsfield e Cormack ricevono il premio Nobel per la scoperta della TC
1989	Tecnologia di acquisizione spirale
1998	Primi scanner TC multistrato (4 strati)
2001	TC a 16 strati
2004	TC a 64 strati
2007/2008	TC a 128-256 strati
2009	TC a 320 strati (Aquilion One, Toshiba)

Alla fine degli anni Ottanta iniziò una vera e propria competizione per produrre strumenti capaci di velocità di acquisizione e qualità dell'immagine sempre maggiori, che portarono al susseguirsi delle varie tecnologie fino alle moderne TC multistrato (Tabella 1.1). Nel 1979, soltanto sei anni dopo l'introduzione della TC, ben 1300 strumenti erano stati installati negli Stati Uniti. Nel 1980 furono eseguiti 3 milioni di esami TC, nel 2006 si arrivò a 62 milioni e si stima che nel 2010 si possano raggiungere i 100 milioni [9].

Fig. 1.4 Apparecchio micro-TC di SkyScan Inc. (Università di Lubecca, Germania). L'oggetto da esaminare viene posto in un alloggiamento rotante all'interno della camera di misurazione; il campo di misura ha un volume di circa 2 cm^3 . (Da Buzug [10])



Oggi la TC rappresenta una metodica di indagine radiologica di fondamentale importanza diagnostica in numerose discipline, tra le quali neurologia, ortopedia e gastroenterologia. I progressi tecnici della TC sono continui e orientati in diverse direzioni: dall'integrazione con altre metodiche (TC-SPECT e TC-PET) alla realizzazione di apparecchi di micro-TC per applicazioni scientifiche (Fig. 1.4) [11].

Bibliografia

1. Radon JH (1917) Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten. *Ber Vor Sachs Akad Wiss* 69:262–277
2. Bracewell RN (1956) Strip integration in radioastronomy. *J Phys* 9:198–217
3. Beckmann EC (2006) CT scanning in the early days. *Br J Radiol* 79:5–8
4. Cormack EC (1980) Early two-dimensional reconstruction and recent topics stemming from it. *Med Phys* 7:277–282
5. Goodman LR (2010) The Beatles, the Nobel Prize and CT scanning of the chest. *Radiol Clin N Am* 48:1–7
6. Hounsfield (1973) Computerized transverse axial scanning (tomography) *Br J Radiol* 46:1016
7. Hendee WR (1980) History of computed tomography. In: Fullerton GD, Zagzebski JA (eds) *Medical physics of CT and ultrasound*. American Association of Physicists in Medicine, New York
8. Sittig DF, Ash JS, Ledley RS (2006) The story behind the development of the first whole-body computerized tomography scanner as told by Robert S. Ledley. *J Am Med Inform Assoc* 13:465–469
9. Brenner DJ, Hall EJ (2007) Computed Tomography – An increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 357:2277–2284
10. Buzug TM (2008) *Computed Tomography. From Photon Statistics to Modern Cone-Beam CT*. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg
11. Zaidi H, Montandon ML, Alavi A (2010) The clinical role of fusion imaging using PET, CT, and MR imaging. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 18(1):133–149

Principali componenti di uno scanner TC

2

S. Del Corona, S. Cavaliere, C. Baggiani

Indice dei contenuti

- 2.1 Requisiti strutturali e tecnologici di una sala di TC
- 2.2 Componenti di uno scanner TC
- Bibliografia

2.1

Requisiti strutturali e tecnologici di una sala di TC

I requisiti strutturali di una sala in cui si svolge attività diagnostica mediante tomografia computerizzata variano in funzione del tipo di apparecchiatura prevista e della tipologia di esami che saranno effettuati. In linea generale, una diagnostica TC prevede tre aree distinte.

1. Sala diagnostica: è il locale nel quale sono posizionati lo scanner TC (gantry e lettino porta-paziente), il generatore, l'iniettore del mezzo di contrasto e i dispositivi di assistenza ed emergenza (attacco dei gas medicali, aspiratore, sistema di monitoraggio elettrocardiografico e defibrillatore, respiratore automatico, pulsossimetro, carrello delle emergenze);
2. locale console: vi si trovano le postazioni dell'operatore e del medico radiologo, dalle quali viene diretta l'esecuzione dell'esame TC;
3. locale tecnico: vi alloggiavano le componenti del quadro elettrico e tutto il materiale necessario ai tecnici delle ditte costruttrici per le manutenzioni programmate.

Di norma la superficie dell'area in cui è presente il macchinario TC non deve essere inferiore ai 25 m², in modo da consentire il corretto posizionamento del tomografo e gli spostamenti del personale di radiologia (medico, tecnico, infermieristico ecc.), nonché favorire l'ingresso dei pazienti, soprattutto dei non deambulanti. I locali devono essere opportunamente climatizzati mediante sistema dedicato. Il locale console, in cui opera il tecnico di radiologia, deve avere una facile comunicazione con la sala diagnostica e deve essere dotato di dispositivi per la visualizzazione diretta (vetro schermato) e indiretta



Fig. 2.1 Sala consolle con postazione operatore TC

(telecamera) del paziente e di interfono per permettere all'operatore di dialogare con il paziente durante l'esecuzione dell'esame [1] (Fig. 2.1).

La diagnostica TC è collocata all'interno di un servizio di radiologia, che comprende tutti gli spazi previsti dalla specifica normativa sanitaria: aree di attesa per l'utenza, spazi per l'accettazione, servizi igienici per operatori e utenti, aree di refertazione, depositi per il materiale d'uso. È molto importante che la diagnostica TC sia prossima a un servizio di anestesia e rianimazione, sia per motivi logistici sia per conformità a quanto previsto dalla normativa in materia.

2.2

Componenti di uno scanner TC

I principali componenti di uno scanner TC sono il gantry e il tavolo su cui viene collocato il paziente; tutti i tavoli porta-paziente disponibili in commercio, indipendentemente dal costruttore, hanno caratteristiche abbastanza simili (Fig. 2.2). Altre parti essenziali per il funzionamento del tomografo sono il generatore di alta tensione, i sistemi elettronici per la trasmissione dei dati e i computer per la visualizzazione e l'elaborazione delle immagini. Per garantire una piena operatività del sistema, è necessario che tutte le unità siano correttamente integrate tra di loro [2].



Fig. 2.2 Sala diagnostica di uno scanner TCMS (Lightspeed VCT; General Electric), in cui sono visibili il gantry e il tavolo porta-paziente

2.2.1 Gantry e slip ring

Il gantry rappresenta la struttura principale di uno scanner TC e contiene il tubo radiogeno, i detettori, il generatore di alta tensione, i dispositivi per la trasmissione dell'energia, i collimatori e il DAS (*Data Acquisition System*) (Fig. 2.3). Tipicamente il gantry ha un peso variabile da 1500 a 2000 kg ed è caratterizzato da un'apertura ad anello, del diametro di circa 70 cm, attraverso la quale il tavolo porta-paziente scorre durante la scansione. Sebbene il diametro del gantry possa arrivare a 70 cm, il campionamento dei dati viene eseguito su un campo di vista (*Sampling Field of View*, SFOV) del diametro massimo di 50 cm [3].

I moderni sistemi TC multistrato (TCMS) si basano sulla geometria della cosiddetta TC di terza generazione, in cui – come sarà spiegato in dettaglio nei prossimi capitoli – un arco costituito da più file di detettori ruota intorno al paziente in maniera solidale con il tubo radiogeno, al quale è contrapposto di 180° [4]. L'asse di rotazione del gantry può essere inclinato rispetto all'asse longitudinale del paziente entro limiti pari a $\pm 30^\circ$ a una velocità di 1°/s. Nelle moderne apparecchiature TCMS il complesso tubo-detettori può arrivare a compiere una rotazione di 360° in 0,3 s, generando un'accelerazione centrifuga che raggiunge anche i 30 g. La rotazione continua del complesso tubo-detettori, introdotta