

TAC-NOLOGIA

UNA STORIA ESEMPLARE

di Gian Luca Lapini*

Il rapporto fra scienza e tecnologia è più complesso di quello espresso dalla affermazione «la scienza scopre, la tecnologia applica». L'autore esemplifica questa complessità esaminando il lungo percorso che ha portato alla costruzione di apparecchi per la Tomografia Assiale Computerizzata (TAC), che, ben sessant'anni dopo l'introduzione della radiografia a raggi X, ne ha costituito una sostanziale evoluzione. Una vicenda storica che è quasi un paradigma di come si sviluppa la tecnologia moderna.

Mette insieme due termini, TAC e tecnologia, il gioco di parole del titolo perché raccontare la storia della TAC mi sembra un buon modo di esemplificare come scienza, tecnologia e società interagiscono fra di loro, a dare quella straordinaria disponibilità di nuove apparecchiature, dai gadget di puro intrattenimento, agli strumenti salva-vita, che caratterizza i nostri tempi. In poco più di trent'anni, dall'introduzione nei primi anni Settanta ai giorni nostri, la TAC ha contribuito a scrivere uno dei capitoli più importanti della diagnostica medica moderna, una disciplina che grazie ai progressi dell'elettronica, si è molto arricchita di strumenti e di mezzi di indagine che hanno enormemente dilatato la capacità dei medici di guardare dentro il corpo umano¹, e dunque anche contribuito, come tante altre tecnologie divenute di uso comune, a influenzare il nostro modo di vivere (in questo caso, per meglio dire, di sopravvivere).

Che cosa significa TAC

La parola tomografia deriva dal termine greco tomos, che significa fetta, sezione. Il termine «assiale» richiama il fatto che questo metodo di indagine produce una serie di sezioni lungo l'asse longitudinale del corpo umano. In un apparecchio per la TAC si utilizzano i raggi X, come nelle radiografie, ma a differenza di quest'ultime il paziente non viene esposto a un singolo fascio di raggi proveniente da una sola direzione, ma a una serie di fasci provenienti da un gran numero di direzioni. I dati di queste esposizioni, piuttosto di fissarsi

*Ingegnere ricercatore presso il Centro Elettronico Sperimentale Italiano (CESI) di Milano.

¹ Gli apparati elettrici di diagnosi, come gli elettrocardiografi e gli elettroencefalografi, sono stati introdotti nel primo quarto del Novecento. Nei primi anni Cinquanta sono entrati in uso gli apparecchi per i trattamenti di medicina nucleare (clinicamente accettati agli inizi degli anni Sessanta) e verso la metà degli anni Cinquanta, quelli a ultrasuoni (di utilizzo corrente dagli anni Settanta). Altri apparecchi, quali RMN e PET, sono posteriori alla TAC. Sulla RMN si veda in particolare l'articolo di Giorgio Belloni, *Risonanza magnetica nucleare*, in *Emmeciquadro* n.20, aprile 2004.



Wilhelm Roentgen (1845-1923)

direttamente su una pellicola, vanno a colpire una serie di rivelatori che li trasformano in segnali elettrici, a loro volta acquisiti tramite un computer, che da essi ricostruisce, con un processo matematico, le immagini degli organi interni del paziente. Molti sono i vantaggi: tramite il computer si possono generare delle sezioni in qualunque piano e, da una serie di queste, ricavare delle viste tridimensionali. La risoluzione delle immagini che si ottiene è notevolmente più alta rispetto a quella ottenibile con una singola sorgente e una pellicola, dal momento che il computer può esaltare un certo dato, variare il «contrasto» e in tal modo manipolare l'immagine, permettendo di evidenziare anche le minute variazioni di densità dei tessuti che possono indicare, per esempio, dei tumori in formazione e altri cambiamenti non voluti.

Lo sviluppo della TAC

La storia della TAC è stata sicuramente raccontata più volte, ma ci sono alcuni aspetti dei suoi inizi e alcune vicende del suo sviluppo industriale, che non sono noti. È interessante ripercorrerne le tappe, rileggendole nel contempo come un paradigma del modo in cui si è sviluppata la tecnologia moderna.

La vicenda è abbastanza complessa e si presta a varie letture, a diversi livelli di profondità. Volendo limitare l'indagine al periodo e al luogo in cui sono comparsi i primi apparecchi per la TAC, basta ritornare all'Inghilterra degli anni Sessanta, e raccontare la storia di Godfrey Hounsfield e delle prime macchine prodotte dalla società EMI, mentre se vogliamo approfondire le origini tecnico-scientifiche di questa scoperta dobbiamo allargare l'orizzonte spaziale e temporale. Ma anche in questo modo quello che possiamo dire può dipendere notevolmente dallo schema interpretativo che decidiamo di utilizzare.

Se, per esempio, leggiamo i fatti con in mente uno schema piuttosto diffuso, che cioè la tecnologia sia essenzialmente scienza applicata, la vicenda della TAC sembra essere ricostruibile a partire da due scoperte scientifiche fondamentali, quella dei raggi X scoperti dal fisico tedesco Wilhelm Roentgen nel 1895, mentre stava studiando i raggi catodici, e quella operata dalla matematica, della trasformata di Radon.²

La tecnologia avrebbe poi tradotto in pratica la scoperta dei raggi X nella forma di apparecchi radiologici che la professione medica, già dagli inizi del Novecento, ha cominciato a utilizzare ampiamente come strumento diagnostico e di cui la società ha cominciato a beneficiare. Altre scoperte scientifiche, per esempio quelle sulle proprietà dei materiali semiconduttori, sarebbero all'origine dello sviluppo dei computer, cioè di quegli altri artefatti tecnologici con i quali è stato possibi-



Johann Radon (1887-1956)

² La «trasformata di Radon» che è alla base degli algoritmi utilizzati per il trattamento delle immagini radiologiche della TAC, è un procedimento di calcolo introdotto nel 1917 dal matematico austriaco J. Radon. Egli sviluppò questa «trasformazione proiettiva di una funzione bidimensionale in uno spazio di coordinate polari» generalizzando il lavoro fatto già, nel 1826, dal fisico norvegese Abel che aveva definito i termini matematici di tale trasformazione, ma limitandosi al caso particolare di un oggetto assial-simmetrico. Il limite fu superato da Radon, estendendo la formulazione a un oggetto di forma qualsiasi.

le passare dalle semplici radiografie alle immagini ricostruite al computer, che costituiscono il prodotto di una indagine fatta con la TAC. Sembrerebbe dunque che si applichi alla perfezione quello schema di interpretazione del moderno rapporto scienza-tecnologia-società, ben definito dal famoso motto della *Esposizione Universale* di Chicago del 1933: «La Scienza trova, l'Industria applica, l'Uomo si adatta». Tuttavia, come cercheremo di dimostrare, la realtà è sempre più complessa e variegata degli schemi.

Tecnologia e scienza: un rapporto complesso

Consideriamo per cominciare questo fatto: come è successo in tanti altri casi, la tecnologia si è impadronita rapidamente della scoperta che i raggi X possono attraversare il corpo umano (interagendo di più con gli atomi pesanti, il calcio dei denti o delle ossa, che con quelli leggeri dei tessuti) e produrre immagini di tipo fotografico (la cui densità, in termini di chiaro-scuro è proporzionale al peso atomico degli atomi attraverso cui sono passati), molto prima che fosse formulata una teoria scientifica completa e coerente sui raggi X. Infatti questa proprietà fu sfruttata in campo medico molto rapidamente (già nel 1896³, a poco più di un anno dalla loro scoperta, erano già in funzione i primi gabinetti radiologici), e divenne una pratica corrente diversi anni prima che gli scienziati inquadrassero i raggi X nella teoria generale dei fenomeni elettromagnetici, comprendendone le caratteristiche e le proprietà (e anche la pericolosità) legate alla loro lunghezza d'onda molto inferiore a quella di altre radiazioni, per esempio la luce visibile. In effetti una delle capacità fondamentali della tecnologia è quella di riuscire a tradurre in oggetti di pratico utilizzo conoscenze anche molto parziali della natura e dei fenomeni fisici. Questa capacità con l'aumentare generalizzato delle conoscenze scientifiche tende ad applicarsi a fenomenologie sempre più complesse⁴, senza che con questo venga meno la distinzione tra la conoscenza scientifica e quella tecnologica.⁵

Dalla radiografia alla TAC: l'importanza del computer

Tecnologia e scienza hanno però entrambe bisogno che si verifichino delle coincidenze fra le imprevedibili strade che possono essere imboccate e percorse dalla creatività umana, e la disponibilità dei mezzi e degli strumenti che permettono dei «salti». La creatività può infatti produrre notevoli risultati attraverso un processo più o meno veloce di miglioramento dell'esistente, ma ha sempre bisogno anche di punti di discontinuità, per arrivare a nuove mete, raggiungibili solo grazie ad altre tecnologie, molto lavoro, efficienti organizzazio-

³ Fu E.H. Williams che realizzò, a Boston, nel 1896, la prima radiografia del torace. Nello stesso anno il tedesco Schleussner sviluppò le prime lastre fotografiche al bromuro di argento, sensibili ai raggi X, dando modo di fissare su una lastra le immagini che inizialmente venivano osservate solo su schermi fluorescenti, la cosiddetta «radioscopia». Questa tecnica aveva il grave inconveniente di esporre sia i pazienti, sia medici a notevoli dosi di raggi X, ma non scomparve dall'uso fino almeno agli anni Sessanta.

⁴ Si pensi allo sviluppo delle macchine a vapore, avvenuto molto prima che esistesse una teoria coerente del calore e dei fenomeni termodinamici, o allo sviluppo dei reattori nucleari, avvenuto prima che si conoscesse la struttura fine della materia e la natura delle forze di interazione nucleare.

⁵ Si veda G.L. Lapini, *Scienza e tecnologia, un dibattito aperto*, in *Emmeciquadro* n. 4, dicembre 1998.

ni produttive e commerciali, ambienti sociali favorevoli. Nel caso che stiamo esaminando, si consideri per esempio il fatto che per più di sessanta anni, dopo i primi apparecchi radiologici, gli apparati e la capacità di interpretare le immagini radiografiche furono notevolmente migliorate, ma il limite intrinseco della tecnica radiografica, quello cioè di fornire delle immagini poco definite, che si formano sulla lastra fotografica con una intensità proporzionale alla media dei coefficienti di assorbimento dei vari tessuti attraversati dai raggi X, fu superato solo con l'invenzione della TAC. Per arrivare a quest'ultima fu necessario non solo che qualcuno avesse il lampo di genio di pensare a un modo completamente diverso di utilizzare i raggi X (la tomografia), ma anche che esistessero i computer adatti a essere integrati con un apparecchio medico, in quanto nella tomografia la formazione dell'immagine avviene in modo completamente artificiale: il calcolo quantitativo e la presentazione dei risultati sarebbero stati troppo lunghi e complicati per un'esecuzione manuale. Dunque, pur esistendo la fisica e la matematica, mancava ancora un'altra tecnologia, quella del calcolo elettronico, la quale a sua volta attendeva ancora che altre conoscenze scientifiche e matematiche, altre tecnologie produttive e altri stimoli sociali si coagulassero nella forma di una macchina, il computer, adatta a gestire il problema.

Il problema tipico della diagnosi e della terapia radiologica può essere così formulato: conoscendo il coefficiente di attenuazione dei raggi X di ogni punto del corpo, calcolare il coefficiente di attenuazione totale di un raggio X che attraversi il corpo in una qualunque direzione. Ma esiste anche il problema inverso: conoscendo l'attenuazione dei raggi X per un certo numero di percorsi attraverso il corpo, calcolare la distribuzione dei coefficienti di attenuazione, e di conseguenza ricostruire la distribuzione spaziale degli elementi attenuanti presenti nel corpo. Questi coefficienti di attenuazione sono importanti per la diagnosi, perché hanno valori differenti non solo per ossa e tessuti, ma anche per tumori e per coaguli di sangue. Ancor di più, mentre le lastre radiografiche tradizionali sono limitate in quanto comprimono su due dimensioni immagini tridimensionali, il nuovo approccio avrebbe permesso la costruzione dell'immagine bidimensionale di un oggetto tridimensionale (tomografia, cioè una sezione del corpo) con una risoluzione molto maggiore. Inoltre mentre una radiografia convenzionale produce un'immagine con pochi toni di grigio, una immagine TAC utilizza centinaia di gradazioni di grigio.

⁶ A.M.Cormack nacque in Sud Africa da una famiglia scozzese. Iscritto inizialmente a ingegneria elettrotecnica, terminò gli studi alla facoltà di fisica di Città del Capo. Dopo la laurea lavorò come ricercatore al *Cavendish Laboratory* di Cambridge. Ritornò in Sud Africa dove cominciò a occuparsi di fisica atomica e dove concepì le prime idee sulla tomografia.

Alla fine, due scienziati ebbero l'ispirazione per lo sviluppo di una apparecchiatura per la TAC, in momenti e con ruoli diversi: Hounsfield, cui ho già accennato e su cui tornerò più avanti, e il fisico sudafricano Allan M. Cormack.⁶

Nel 1956 l'ospedale *Groote Shuur* di Città del Capo era rimasto privo del suo addetto al reparto di fisica sanitaria e aveva perciò chiesto aiuto alla locale università, in quanto per legge ci voleva un laureato in fisica per supervisionare l'utilizzo terapeutico dei radioisotopi. Cormack cominciò a passare un giorno e mezzo alla settimana presso l'ospedale, non limitandosi però a svolgere un tranquillo

lavoro di supervisione, ma lasciandosi interrogare da questa esperienza. Come egli stesso racconta nella memoria che presentò in occasione dell'assegnazione del premio Nobel, le sue prime idee e sperimentazioni non erano legate ai raggi X e alle radiografie, ma derivarono dalla constatazione che le valutazioni per quantificare i trattamenti con radioisotopi erano molto imprecise in quanto non si conoscevano i coefficienti di assorbimento dei diversi tessuti del corpo. Egli si mise perciò al lavoro per trovare un metodo di determinazione di questi coefficienti.

Alla fine di quell'anno Cormack partì per un anno sabbatico all'università di Harvard, dove ebbe il tempo di sviluppare le sue intuizioni.

A quell'epoca non conosceva il lavoro di Radon (l'avrebbe scoperto quattordici anni più tardi) e lavorò autonomamente per sviluppare una teoria matematica per la ricostruzione dei coefficienti.

Dopo il suo ritorno in Sud Africa nel 1957, egli mise alla prova la sua teoria con una simulazione di laboratorio. Costruì un oggetto di prova a simmetria circolare, di legno e alluminio e usò un fascio collimato di raggi γ , prodotti da una sorgente radioattiva. Come rivelatore aveva a disposizione un contatore Geiger, che nei suoi esperimenti tenne fisso, spostando l'oggetto di prova nel fascio di raggi γ , in passi di 5 mm, misurando ogni volta l'attenuazione.

Elaborò i dati per calcolare i coefficienti di attenuazione dei raggi che attraversavano il suo oggetto di prova, ottenendo dei risultati di discreta qualità, che gli permettevano di ricostruirne le caratteristiche interne.

Più tardi, in quello stesso anno, Cormack si trasferì alla *Tufts University* di Medford, Massachusetts, e continuò i suoi esperimenti. Sviluppò un approccio matematico migliorato, provò la sua teoria con modelli più complessi, e usò il computer per elaborare i suoi dati. Per il 1963 era riuscito a ottenere ricostruzioni abbastanza fedeli, operando su un modello che riproduceva in qualche modo un cranio umano, fatto da un guscio esterno di alluminio (che simulava le ossa della calotta), riempito di resina (il cervello), nella quale erano annegati due dischi di alluminio (i tumori).

Sebbene avesse mostrato i suoi risultati a diversi radiologi e pubblicato le sue scoperte su riviste scientifiche, non riuscì a suscitare alcun concreto interesse per il suo lavoro⁷, che «mise in un cassetto», per dedicarsi ad altri studi; sarebbe ritornato a occuparsene solo negli anni Settanta, quando cominciarono a circolare notizie del lavoro di altri scienziati sulla tomografia.



Allan Cormack (1924-1998)

⁷ Una sorte analoga toccò al neurologo americano Olsendorf, che ebbe idee simili a quelle di Cormack, circa negli stessi anni, ma che non riuscì a coinvolgere né i suoi colleghi medici, né qualche società, e viene anche più raramente citato fra i precursori della TAC.

L'ultima tappa: l'elaborazione di un algoritmo

Attorno al 1965, per un'ipotetica invenzione della TAC non mancava la teoria, non mancava più neanche la tecnologia di calcolo, ma non c'erano ancora tutti gli elementi sufficienti perché l'idea si concretizzasse in un apparecchio di pratico utilizzo. Lo scatto ulteriore avvenne in un ambiente industriale, che non aveva niente a che fare con l'ambiente medico, ma dove esistevano l'abitudine e i mezzi per trasformare le idee e i bisogni in oggetti funzionanti.

Nel 1967, in Inghilterra, un maturo tecnico elettronico di nome Godfrey Hounsfield⁸, al termine di un progetto di scarso successo, fu incaricato di proporre nuovi temi di lavoro, per il piccolo laboratorio di ricerca della EMI⁹, di cui era responsabile. Gli sembrò interessante proporre l'utilizzo della potenza di calcolo dei calcolatori elettronici, con i quali aveva a lungo lavorato negli anni precedenti, per affrontare il problema del riconoscimento automatico di immagini, e ragionando su questo tema arrivò a idee per molti versi simili a quelle di Cormack. Non era a conoscenza dei lavori di Radon e di Cormack, ma anch'egli si rese conto che modelli matematici avrebbero potuto essere usati per ricostruire la struttura interna di un corpo, partendo da un certo numero di misure lineari a raggi X. Anch'egli sviluppò una relazione matematica utilizzabile a questo scopo e concluse che un tale approccio avrebbe dovuto dare i coefficienti locali di attenuazione all'interno di un corpo, con una precisione 100 volte maggiore delle tecniche radiografiche tradizionali.

Hounsfield ebbe il vantaggio di lavorare in una grossa società, nella quale godeva di notevole fiducia, essendo a capo di uno dei suoi laboratori di ricerca. I suoi primi esperimenti furono simili a quelli di Cormack, ma presto egli cominciò a utilizzare i raggi X (invece dei raggi γ) e corpi di prova asimmetrici. Inizialmente la procedura che Hounsfield usava per ricavare un'immagine, comprendente la scansione, i calcoli e la ricostruzione dell'immagine era lunga e macchinosa, ma dopo circa un anno fu possibile ridurre il tempo totale da nove giorni a nove ore. Dopo i primi esperimenti sui modelli, cominciarono quelli su cervelli e su carcasse di animali. I risultati furono incoraggianti, e Hounsfield riuscì ad avere la collaborazione di due radiologi. La tecnica si mostrava particolarmente interessante per esaminare il tessuto molle del cervello, per il quale la radiografia era notoriamente inefficace e nel 1970 la EMI, che era riuscita a suscitare anche l'interesse del Ministero della Sanità inglese, ottenne un contributo per costruire una macchina di dimensioni e caratteristiche adatte all'esame del solo cranio. Essa muoveva una singola sorgente e un singolo rivelatore di un grado alla volta in modo da registrare 180 proiezioni.

Ci volevano quattro minuti e mezzo per raccogliere i dati, e venti

⁸ G.N. Hounsfield nacque nel 1919 in Inghilterra. Allo scoppio della seconda guerra mondiale si arruolò nella RAF, dove divenne un esperto di radar e telecomunicazioni. Fu assunto alla EMI nel 1951, lavorando prima nel campo dei radar e delle armi guidate e poi dei calcolatori elettronici. Dal 1958 fu a capo del gruppo che costruì il primo computer inglese totalmente a transistor (*Emidec 1100*). Passò poi ai laboratori centrali di ricerca della EMI, presso i quali concepì nel 1967 la sua idea di tomografia computerizzata.

⁹ La EMI Ltd (*Electrical & Musical Industries*), fondata agli inizi del Novecento, dopo la Seconda Guerra Mondiale è azienda leader nel campo dei radar e delle comunicazioni radio. Possedeva importanti laboratori di ricerca elettronica, anche se i suoi maggiori successi commerciali erano nel campo della musica.

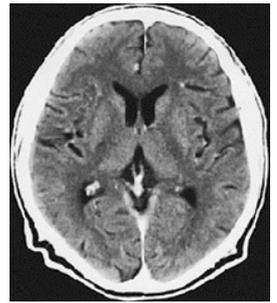
minuti per ricostruire l'immagine. Verso la fine del 1971 l'apparecchio era pronto, e fu installato presso l'ospedale *Atkinson Morley* di Wimbledon, dove si cominciarono a fare le prime diagnosi utili della presenza di formazioni tumorali del cervello: la prima in assoluto fu quella di una paziente nella quale era stata individuata una grossa cisti cerebrale. Nel corso del 1972 l'apparecchio fu presentato a diversi congressi medici e, nel giugno del 1973, l'installazione di un esemplare nella prestigiosa clinica *Mayo* segnò il lancio della EMI sul mercato statunitense.

La prima produzione di apparecchiature TAC

C'erano state molte incertezze, ai vertici della EMI, sul cosa fare di questa macchina. Andare avanti avrebbe dato alla EMI una nuova direzione produttiva, ma l'azienda non aveva alcuna esperienza nell'elettronica medica. Inoltre, sulla base delle prime valutazioni, la EMI aveva stimato che ci sarebbe stato un mercato mondiale di non più di qualche decina di apparecchiature. Alcuni cambiamenti al vertice dell'azienda produssero una crescente volontà di diversificazione e una maggiore attenzione per i più promettenti progetti di ricerca e sviluppo, uno dei quali era la TAC.

Nuove stime, fatte da autorevoli neurologi americani, prevedevano che dai soli ospedali statunitensi di maggiori dimensioni sarebbero state richieste centosettanta macchine. Dal momento che a quel tempo il prezzo di una apparecchiatura TAC si aggirava sui 400 000 dollari, si trattava chiaramente di un grosso affare, e la EMI decise di investire nell'impresa e di giocare d'anticipo. L'azienda era fiduciosa che il lavoro fatto sarebbe bastato a conquistare una fetta preminente del mercato degli Stati Uniti, anche se questi erano al di fuori della sua normale area commerciale.

Le valutazioni della EMI si dimostrarono inizialmente adeguate, perché nel giro di tre anni furono vendute più di trecento macchine, con notevolissimi profitti. Questo successo fu dovuto alle indubbie prestazioni del prodotto e al salto di qualità che la TAC consentiva rispetto alle normali radiografie, ma la veloce penetrazione della TAC sarebbe difficilmente comprensibile se non si tenesse anche in conto che all'inizio degli anni Settanta l'ambiente sociale era molto favorevole allo sviluppo di nuovi mezzi di indagine diagnostica. Le nazioni economicamente più avanzate erano impegnate a migliorare la salute pubblica e le cure mediche. Il rapido sviluppo dei computer e dell'elettronica, assieme alla crescente sofisticazione della pratica medica rendevano possibili grandi passi nell'applicazione della tecnologia alla medicina. In particolare negli Stati Uniti e in Giappone, più che in Europa, le stesse modalità con cui gli ospedali potevano acquistare costose apparecchiature¹⁰, favorirono una rapida diffusione della TAC.



TAC esempio di sezione del cervello

La concorrenza industriale

¹⁰ Gli ospedali americani avevano meno vincoli di quelli europei nell'investire in apparecchiature, in quanto potevano riversare i costi sulle tariffe delle prestazioni praticate; quelli giapponesi ricevevano un notevole sostegno governativo, proprio per l'acquisto di apparecchiature moderne.

Questa rapida penetrazione fu anche la causa di una altrettanto rapida crisi della EMI, perché l'appetibilità del mercato fece entrare sulla scena molti concorrenti. Prima della fine del 1974 vennero annunciati due altri apparecchi, uno della società californiana *Neuroscan* e uno della *Digital Information Sciences Corporation* (DISCO) che non si limitava alla tomografia del cranio, ma poteva già esaminare l'intero corpo e otteneva immagini più dettagliate in minor tempo.

La EMI contrattacò annunciando una macchina di seconda generazione che utilizzava fasci multipli di radiazione e rivelatori multipli, permettendo una rotazione di 10° invece di 1° alla volta, riducendo così il tempo di scansione da 4,5 minuti a 20 secondi. Inoltre la risoluzione dell'immagine veniva migliorata di quattro volte. La macchina fu presentata nel maggio 1975. In quello stesso anno la società farmaceutica *Pfizer* comprò i diritti di fabbricazione per la macchina della DISCO e sei nuovi concorrenti entrarono nel mercato della TAC (*Syntex*, *Artronix*, *General Electric*, *Siemens*, *Picker* e *Varian*).

Particolarmente impressionante fu la macchina di terza generazione presentata dalla *General Electric*: usava un fascio ampio 30°, e completava una rotazione di 360° in 4,8 secondi. Una scansione così veloce migliorava l'immagine minimizzando lo sfuocamento dovuto ai movimenti del paziente. Con questo prodotto la *General Electric*, forte di uno staff di 300 venditori e di una rete di servizio di 1200 persone, e intenzionata a investire in questo campo, divenne il *leader* del mercato statunitense.

Così la EMI, che a tutto il 1976 aveva prodotto 450 macchine delle 650 acquistate nel mondo, vide rapidamente scendere la sua quota di mercato. Nel dicembre 1976, al congresso annuale della associazione dei radiologi americani, vennero presentati 16 nuovi apparecchi. Venne anche discusso il tema dei costi crescenti delle spese mediche e sempre più agenzie cominciarono a mettere dei freni alle spese sanitarie, pubbliche e private. La dimensione del mercato stava inoltre provocando delle tensioni all'interno della EMI, così come i problemi di produzione. Arrivati al 1979, nel settore TAC la EMI era ormai in perdita, e nel 1981 tutto il settore medicale fu venduto alla *General Electric*.

La vicenda della EMI mostra come un'organizzazione che inventa un prodotto, sviluppa la tecnologia originale, diventa *leader* del mercato, non è detto che, una volta cambiate le condizioni ambientali, riesca a mantenere la *leadership* del mercato del prodotto che ha inventato, ma possa perdere nei confronti di aziende dotate di maggiori risorse.

Questo esempio di interazione fra tecnologia e industria moderna, dimostra come neppure la migliore tecnologia riesca a durare se chi la produce non sa rinnovarsi e gestire la complessa struttura tecnico-finanziario-organizzativa necessaria. La EMI fece la prima, originale ed essenziale ingegnerizzazione, portando allo stadio di apparecchio fun-

Apparecchio per TAC cranica
EMI SIRETOM (1974)



zionante, un'idea che anche altri avevano avuto «scientificamente», ma che non erano stati capaci di tradurre in pratica. I primi apparecchi concorrenti erano estremamente simili alla macchina EMI, dal momento che le protezioni dei brevetti non erano abbastanza forti. Inoltre, l'ingegneria originale non era in grado di reggere alla concorrenza, né forse il marketing aziendale così accorto da prevedere l'evoluzione del mercato, né la EMI aveva abbastanza risorse di ricerca e sviluppo, e capitali, per migliorare ulteriormente e rapidamente il prodotto; il risultato finale fu che la EMI sparì completamente dal mercato degli apparecchi per la TAC. Il suo iniziale successo fu una specie di vittoria di Pirro sulle aziende che da decenni producevano apparecchiature radiologiche e avevano un solido radicamento nell'ambiente sanitario, oltre che una provata ed estesa organizzazione commerciale e di assistenza.

In effetti la macchina sviluppata dalla EMI era tecnicamente molto più sofisticata delle apparecchiature fino allora in uso nelle strutture sanitarie e richiedeva la capacità di fornire, assieme alla macchina, un elevato standard di addestramento, supporto e assistenza.

La EMI non aveva queste capacità «complementari», che non sono magari immediatamente percepite come una parte essenziale della tecnologia moderna, ma che in realtà contribuiscono a formare la complessità dei sistemi tecnologici attuali. Ed è a questa complessità che anche i modelli interpretativi degli eventi tecnologici devono rispondere.



TAC, apparecchiatura dell'ultima generazione (Philips)

Il riconoscimento del Nobel agli inventori della TAC

Concludo ricordando che per il loro lavoro Cormack e Hounsfield vinsero nel 1979 il Premio Nobel per la medicina. Nessuno dei due aveva una formazione biologica o medica e il loro lavoro era nel campo della ricerca applicata piuttosto che in quello della ricerca di base. Ma la TAC ha avuto uno straordinario impatto sulla medicina, e sembra quindi corretto che i loro sforzi indipendenti siano stati riconosciuti, consacrando la loro paternità di questa idea.

La storia della TAC mostra anche come l'interazione fra scienza (in particolare la fisica e la matematica), tecnologia e società, non sia né semplice né lineare e come qualsiasi processo storico vada analizzata con strumenti adeguati. ❖

INDICAZIONI BIBLIOGRAFICHE

- James L. Adams, *Flying Butresses, Entropy, and O-Rings (The World of an Engineer)*, Harvard University Press, Cambridge (Ma). 1991.
 Godfrey N. Hounsfield, *Computed Medical Imaging*, Nobel Lecture, 8 Dec 1979 (in <http://nobelprize.org>).
 Allan M. Cormack, *Early Two-Dimensional Reconstruction and Recent topics Stemming from It*, Nobel Lecture, 8 Dec 1979 (in nobelprize.org).
 David Teece, *Market Entry Strategies for Innovators: Avoiding Pyrrhic Victories* (in www.haas.berkeley.edu).
 Will Mitchell, Jennifer Smith, *Playing leap-frog with Elephants: EMI Ltd and CT scanner competition in the 1970s*, Michigan University Business School. 1994.
 David H. Banta, Jane Sisk Willems, *Policy implications of the Computed Tomography (CT) Scanner*, Office of Technology Assessment, Washington. 1978.