

L'esemplare storia della TAC

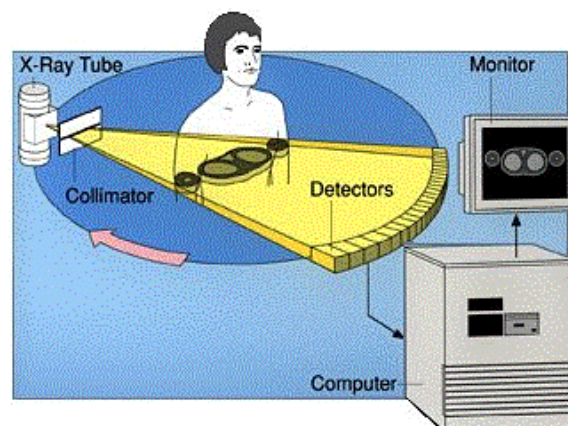
Il percorso che un'idea nuova deve compiere per passare dalla mente di chi la concepisce ai luoghi in cui un nuovo prodotto viene costruito ed utilizzato non è né semplice, né lineare, né sempre uguale. Lo sviluppo della TAC (Tomografia Assiale Computerizzata), ci offre un esempio, che ci sembra significativo, di come scienza, tecnologia e società interagiscono fra di loro a dare quella straordinaria disponibilità di nuove apparecchiature, dai *gadgets* di puro intrattenimento, agli strumenti salva-vita, che costituisce una delle caratteristiche dei nostri tempi.

Che cos'è la TAC

Val la pena di ricordare brevemente che 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 ad un singolo fascio di raggi proveniente da una sola direzione, ma ad una serie di fasci provenienti da un gran numero di direzioni.

I dati di queste esposizioni, piuttosto di fissarsi direttamente su una pellicola, come in una normale radiografia, 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. 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 (testa-piedi) del corpo umano, a differenza delle normali radiografie che sono delle proiezioni lungo gli assi trasversali.

TAC, schema di principio



Tramite il computer si possono generare delle sezioni in qualunque piano, e da una serie di queste, ricavare delle viste tridimensionali. Inoltre la risoluzione delle immagini che si ottiene è notevolmente più alta rispetto di quella ottenibile con una singola sorgente ed una pellicola, in quanto il computer può esaltare un certo dato, variare il "contrasto" ed in tal modo

manipolare l'immagine, permettendo di evidenziare anche le più minute variazioni di densità dei tessuti che possono indicare, per esempio, dei tumori in formazione ed altri cambiamenti non voluti.

Il primo apparecchio per al TAC fu installato verso la fine del 1971 presso l'ospedale Atkinson Morley di Wimbledon (Londra), dove si cominciò a usarlo per la diagnosi delle formazioni tumorali del cervello. Questa installazione segnò la conclusione di un tentativo iniziato un po' fortunatamente circa cinque anni prima dalla EMI (*Electrical and Musical Industries*), una industria elettronica inglese nota soprattutto per le sue produzioni discografiche, per cercare di ri-orientare le sue competenze elettroniche, dopo un periodo di crisi.

Ma come si era arrivati a questi primi apparecchi per la TAC?



Johann Radon



Allan M. Cormack

Dal Sud Africa all'Inghilterra

La prima persona coinvolta con lo sviluppo della tomografia fu il fisico sudafricano Allan M. Cormack, che per primo cominciò a lavorare a questa idea, nel 1956, presso l'Ospedale *Groote Shuur* di Città del Capo. Le sue prime idee e sperimentazioni non erano affatto legate ai raggi X ed alle radiografie, ma derivarono dalla constatazione che le valutazioni che venivano fatte per quantificare i trattamenti con radioisotopi per i malati di tumore, erano molto imprecise in quanto nessuno conosceva esattamente i coefficienti di assorbimento dei diversi tessuti del corpo che venivano attraversati dalle radiazioni. Egli si mise perciò al lavoro per trovare un metodo per determinare questi coefficienti, cioè su un argomento che solo in seguito si sarebbe rivelato molto importante, per lo sviluppo della tomografia. Alla fine di quell'anno Cormack partì per un anno sabbatico all'Università di Harvard, dove ebbe il tempo di sviluppare le sue intuizioni e lavorò autonomamente per mettere a punto un metodo matematico per la ricostruzione dei coefficienti di attenuazione, senza sapere che il matematico austriaco Johann Radon aveva già sviluppato quarant'anni prima la teoria matematica che sarebbe servita a trattare un simile problema (l'avrebbe scoperto solo 14 anni più tardi). Dopo il suo ritorno in Sud Africa nel 1957, egli mise alla prova la sua teoria su un simulacro di laboratorio. Elaborò a mano i dati per calcolare i coefficienti di attenuazione dei raggi che attraversavano il corpo di prova, ottenendo dei risultati di discreta qualità, che

gli permettevano di ricostruirne le caratteristiche interne. In quello stesso anno Cormack si trasferì alla Tufts University di Medford, Massachusetts, dove per diversi anni continuò i suoi esperimenti. Sviluppò un approccio matematico migliorato, provò il suo schema con modelli più complessi, ed usò dei computer per elaborare i suoi dati. Per il 1963, 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 (che simulavano dei tumori), riuscì ad ottenere delle ricostruzioni abbastanza fedeli. Ma sebbene avesse mostrato i suoi risultati a diversi radiologi e pubblicato le sue scoperte su delle riviste scientifiche, non gli riuscì di suscitare alcun concreto interesse per il suo lavoro, che egli "mise in un cassetto", per dedicarsi ad altri studi; sarebbe ritornato ad occuparsene solo negli anni '70, quando cominciarono a circolare notizie del lavoro di altri sulla tomografia.

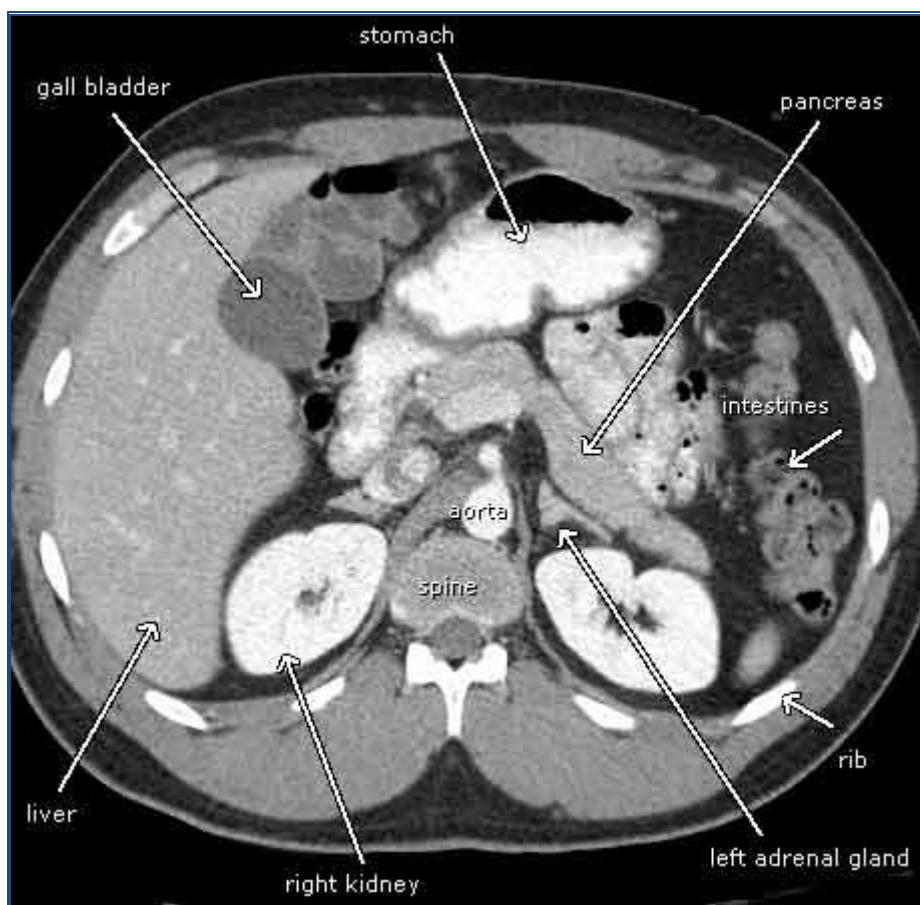


Godfrey H. Hounsfield e la prima TAC della EMI

Nel 1967, in Inghilterra, un maturo tecnico elettronico di nome Godfrey Hounsfield, al termine di un progetto di scarso successo che aveva condotto per diversi anni, fu incaricato di proporre dei nuovi temi di lavoro, per il laboratorio di ricerca della EMI, 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 radiografiche, 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 delle tecniche matematiche avrebbero potuto essere usate 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 teoricamente 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 ad utilizzare dei corpi di prova più complessi e 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 gli fu possibile ridurre il tempo totale necessario a ottenere una tomografia 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 è 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 ed 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 minuti per ricostruire l'immagine.



TAC esempio di sezione dell'addome

L'effimero trionfo della EMI

Erano queste le non eccezionali caratteristiche del primo apparecchio per la TAC della EMI che fu installato, come si è accennato, in un ospedale londinese, verso la fine del 1971. Ma l'interesse suscitato nel mondo medico fu grandissimo. Nel corso del 1972 l'apparecchio fu presentato a diversi congressi internazionali e nel giugno del 1973 fu lanciato sul mercato statunitense.

In realtà c'erano state molte discussioni e incertezze su cosa fare di questa macchina, ma alcuni cambiamenti al vertice della EMI produssero una crescente volontà di diversificare la produzione ed una maggiore attenzione per i più promettenti progetti di ricerca e sviluppo, uno dei quali era la TAC. Le stime fatte da autorevole neurologo americano, prevedevano che dai soli ospedali statunitensi di maggiori dimensioni sarebbero state richieste 170 macchine. Dal momento che a quel tempo il prezzo di una apparecchiatura TAC si aggirava sui 400.000 \$, si trattava chiaramente di un grosso affare, e la EMI decise di investire nell'impresa e di giocare d'anticipo, anche se gli USA erano al di fuori del suo normale area commerciale.

Le valutazioni della EMI si dimostrarono inizialmente azzeccate, perché nel giro di tre anni furono vendute più di 300 macchine, con notevolissimi profitti. La EMI fece anzi molta fatica a stare dietro agli ordini. Questo successo fu dovuto al salto di qualità che la TAC consentiva rispetto alle normali radiografie, ma questa poderosa e rapida penetrazione fu anche la causa di una altrettanto rapida crisi della EMI, perché l'appetibilità del mercato fece entrare rapidamente sulla scena dei grossi concorrenti. Prima della fine del 1974 vennero annunciati due altri apparecchi, che non si limitavano alla tomografia del cranio, ma potevano già esaminare l'intero corpo, ottenendo immagini più dettagliate in minor tempo.

La EMI contrattaccò 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, ma in quello stesso anno sei nuovi concorrenti entrarono nel mercato della TAC.

Particolarmente impressionante fu la macchina di terza generazione presentata dalla *General Electric*, che usava un fascio ampio 30°, e completava un giro continuo 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 un poderoso staff di venditori e di una capillare rete di servizio, ed intenzionata ad investire pesantemente in questo campo, divenne rapidamente il leader del mercato statunitense.

Così la EMI che a tutto il 1976 aveva venduto 450 delle 650 macchine acquistate nel mondo, vide rapidamente scendere la sua quota di mercato. Arrivati al 1979, nel settore TAC la EMI era ormai in perdita, e nel 1981 tutto il settore medico fu venduto alla *General Electric*.

La morale della favola

La vicenda della EMI ci ha fatto vedere come una organizzazione che inventa un prodotto, sviluppa la tecnologia originale, diventa leader del mercato, non è poi detto che, quando cambiano le condizioni ambientali, riesca anche a mantenere la leadership del mercato del prodotto che ha inventato, ma possa perdere nei confronti di aziende dotate di maggiori risorse.

Si tratta di un buon esempio di interazione fra tecnologia ed industria moderna, che dimostra come neanche la migliore tecnologia riesca a durare se chi la produce non sa rinnovarsi, superare sé stesso e gestire la complessa struttura tecnico-finanziario-organizzativa necessaria sostenere un prodotto. La EMI fece la prima, originale ed essenziale ingegnerizzazione, portando allo stadio di apparecchio funzionante, un'idea che anche altri avevano "scientificamente" avuto, 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 così forti come la EMI aveva originariamente pensato. Ma l'ingegneria originale non era così buona da 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 grosse aziende che da decenni producevano apparecchiature radiologiche ed 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 ed 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 in modo essenziale la complessità dei sistemi tecnologici con cui oggi si ha a che fare.



TAC, apparecchiatura dell'ultima generazione (Philips)

Tecnologia e scienza hanno però entrambe bisogno che si verifichino delle coincidenze fra le imprevedibili strade che possono essere imboccate e percorse dalla creatività scientifica e tecnologica 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 incrementale dell'esistente, ma ha sempre bisogno anche di punti di discontinuità, per arrivare a nuove mete, che poi si raggiungono solo grazie ad altre tecnologie, molto lavoro, efficienti organizzazioni produttive e commerciali, ed anche un ambiente sociale favorevole. In effetti la veloce penetrazione della TAC sarebbe difficilmente comprensibile se non si tenesse anche in conto che all'inizio degli anni '70 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. La gente chiedeva il meglio e nelle nazioni più ricche, governi ed agenzie private rispondevano con assistenze e programmi assicurativi che rendevano disponibili, per una larga massa di persone, procedure diagnostiche di alto costo.

Concludiamo ricordando che per il loro lavoro Cormack e Hounsfield vinsero nel 1979 il Premio Nobel per la medicina. Furono degli strani vincitori di questo riconoscimento, in quanto nessuno dei due aveva una formazione biologica o medica ed il loro lavoro era ricerca applicata piuttosto che le solite ricerche di base di scienze della vita. 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. Come abbiamo cercato di mostrare la loro “invenzione” costituisce un buon esempio del fatto che la fisica e la matematica contribuiscono spesso in modo indiretto e inaspettato all'introduzione di una nuova tecnologia, ma la storia della TAC dimostra anche che la interazione fra scienza, tecnologia e società, non è né semplice né lineare, e come qualsiasi processo storico va analizzato con strumenti adeguati.

Gian Luca Lapini
Politecnico di Milano

- 1) James L. Adams, *Flying Buttresses, Entropy, and O-Rings (The World of an Engineer)*, Harvard University Press, Cambridge (Ma), 1991.
- 2) Godfrey N. Hounsfield, *Computed Medical Imaging*, Nobel Lecture, 8 Dec 1979 (in <http://nobelprize.org>).
- 3) Allan M Cormack, *Early Two-Dimensional Reconstruction and Recent topics Stemming from It*, Nobel Lecture, 8 Dec 1979 (in <http://nobelprize.org>).
- 4) David Teece, *Market Entry Strategies for Innovators: Avoiding Pyrrhic Victories* (in www.haas.berkeley.edu).
- 5) Will Mitchell, Jennifer Smith, *Playing leap-frog with Elephants: EMI Ltd and CT scanner competition in the 1970s*, Michigan University Business School, 1994
- 6) David H. Banta, Jane Sisk Willems, *Policy implications of the Computed Tomography (CT) Scanner*, Office of Technology Assessment, Washington, 1978
- 7) Giorgio Belloni, *Risonanza magnetica nucleare*, in EMMECIQUADRO n.20, aprile 2004.