

L'anatomia di Leonardo da Vinci: un confronto tra arte, scienza e medicina

Daniele M. Gibelli^a, Carmelo Messina^{a,b},
Claudia Piergigli^c, Andrea Cozzi^a,
Francesco Secchi^{a,d}, Francesco Sardanelli^{a,d},
Chiarella Sforza^a

English title: The anatomy of Leonardo da Vinci: a comparison between art, science and medicine

Abstract: The anatomical drawings by Leonardo da Vinci are extraordinarily modern, not only for the details in describing different structures, but also for the refinement and precision of graphical representations. In several cases, his anatomical sketches show a surprising similarity with the real images obtained today through imaging techniques such as digital radiology, computed tomography, and magnetic resonance imaging. This article compared some anatomical drawings by Leonardo da Vinci, included in the Windsor code, and the images obtained by modern imaging techniques to underline the elements of innovation contained in Leonardo's description of anatomy.

Keywords: anatomy; Leonardo da Vinci; medical imaging; radiology

1. Introduzione

Gli studi di Leonardo si sono estesi a quasi ogni ambito della conoscenza umana, dall'ingegneria alla fisica, dalla poesia all'arte. Uno dei campi in cui la sua produzione è stata caratterizzata da particolare originalità è lo studio dell'anatomia umana, tanto che oggi Leonardo da Vinci viene riconosciuto come uno dei padri nobili della moderna scienza anatomica. Queste ricerche, inizialmente limitate all'apparato locomotore e finalizzate al

^a Dipartimento di Scienze Biomediche per la Salute, Università degli Studi di Milano

^b Unità Operativa di Radiologia Diagnostica e Interventistica, IRCCS Istituto Ortopedico Galeazzi, Milano

^c Centro APICE - Archivi della Parola, dell'Immagine e della Comunicazione Editoriale - Università degli Studi di Milano

^d Unità di Radiologia, IRCCS Policlinico San Donato, San Donato Milanese

Corresponding author: chiarella.sforza@unimi.it

miglioramento della tecnica pittorica, si sono successivamente ampliate a tutti gli apparati, intrecciandosi anche con altri filoni dell'attività di Leonardo, ad esempio in ambito ingegneristico e idraulico. In alcuni casi la ricerca anatomica è stata supportata dalla messa a punto di modelli sperimentali, frutto della grande esperienza del Genio di Vinci nella produzione di macchine, anticipando di alcuni secoli una concezione meccanicistica del corpo umano¹.

Un altro elemento di modernità negli studi anatomici di Leonardo è dato dalla dissezione di cadaveri. Egli riferisce di aver dissezionato, fra il 1489 e il 1513, più di trenta cadaveri, di entrambi i generi e di tutte le età². All'epoca, questa attività era praticata a scopo didattico nelle sedi universitarie di fronte agli studenti delle facoltà mediche, laddove venivano utilizzati corpi di condannati a morte. Leonardo invece utilizzava corpi di pazienti deceduti negli ospedali, Santa Maria Nuova a Firenze, l'Ospedale Ca' Granda a Milano, oggi sede centrale dell'Università degli Studi. Egli stesso descrive questa pratica, quando afferma: "potresti forse essere impedito dal tuo stomaco, e se questo non ti ferma, potresti forse essere impedito dalla paura di vivere le ore notturne in compagnia di questi corpi, accatastati e scorticati e spaventevoli a vedersi". Rispetto alle dissezioni pubbliche, quelle "private" di Leonardo permettevano di soffermarsi sulla forma delle varie strutture e di condurre una ricerca approfondita sui singoli organi.

Leonardo godeva di un altro fondamentale vantaggio rispetto agli anatomisti del tempo: era entrato in contatto tardivamente con la cultura anatomica ufficiale, a quel tempo costituita quasi esclusivamente dai testi galenici. L'anatomia galenica, insegnata in maniera dogmatica nelle scuole di medicina e nelle università, aveva come limite sostanziale l'omologazione dell'anatomia umana a quella degli altri animali. Questo difetto, determinato dal mancato esercizio, da parte di Galeno, di dissezioni di corpi umani, fu alla base di importanti errori nella scienza anatomica dell'epoca. Fu superato in maniera definitiva solo con la pubblicazione del *De humani corporis fabrica* di Andrea Vesalio nel 1543. Leonardo non ebbe modo di frequentare la facoltà di medicina (essendo un figlio illegittimo, gli erano preclusi gli studi universitari) e imparò il latino relativamente tardi. Ciononostante, in diversi disegni leonardeschi l'influenza galenica è presente, e si manifesta in alcuni errori riconoscibili in diversi

¹ A.M. Jose, *Anatomy and Leonardo da Vinci*, "Yale J. Biol. Med.", 74, 2001, pp. 185-195.

² J.K. Perloff, *Human dissection and the science and art of Leonardo da Vinci*, "Am. J. Cardiol.", 111, 2013, pp. 775-777.

schemi anatomici³. Alcuni saranno corretti da studi successivi, dimostrando una capacità autocritica delle nozioni acquisite e di evoluzione del pensiero, sconosciuta agli ambiti accademici del tempo.

Questo articolo ha lo scopo di mostrare alcuni esempi della straordinaria modernità dei disegni anatomici di Leonardo in occasione del cinquecentenario dalla morte del Genio di Vinci. I disegni di Leonardo verranno accostati a immagini ottenute mediante le attuali tecniche di diagnostica per immagini, dimostrando una sorprendente similitudine tra l'anatomia descritta da Leonardo e le rappresentazioni del corpo umano utilizzate dalla medicina contemporanea.

2. *La radiologia e Leonardo*

La *radiologia* è quella branca della medicina finalizzata alla produzione di immagini delle strutture anatomiche del corpo umano allo scopo di documentare lo stato di normalità o la presenza di patologie. Tale approccio consente altresì di guidare procedure diagnostiche invasive o procedure terapeutiche.

La generazione di immagini corporee a scopo medico nasce nel 1895 – come vedremo – con la scoperta dei raggi X da parte di Wilhelm Conrad Roentgen. Tuttavia, nel corso dei successivi decenni, il termine “radiologia” ha subito una duplice evoluzione, dapprima separandosi dalla radioterapia (oggi definita come *Radiation Oncology* nei paesi anglosassoni), poi allargandosi di fatto a comprendere anche tecniche di *imaging* che non utilizzano radiazioni ma onde ultrasonore (l'ecografia) oppure, più recentemente, radiazioni non ionizzanti come le radiofrequenze e campi magnetici ad elevata intensità (risonanza magnetica). L'avvento delle tecniche medico-nucleari, basate sull'emissione di radiazioni ionizzanti ancora più energetiche dei raggi X (raggi γ) da parte di radiofarmaci somministrati al paziente, dotate di specifiche potenzialità in ambito funzionale e metabolico, completa il quadro di una disciplina più ampia, la moderna *diagnostica per immagini*. Essa, infatti, abbraccia tutte queste modalità che consentono di *vedere all'interno del corpo umano*.

Le tecniche caratterizzate da elevata risoluzione spaziale (radiografia, tomografia computerizzata e risonanza magnetica) danno vita alla

³ R.I. Tubbs, J. Gonzalez, J. Iwanaga, M. Loukas, R.J. Oskouian, R.S. Tubbs, *The influence of ancient Greek thought on fifteenth century anatomy: Galenic influence and Leonardo da Vinci*, “Child's Nerv. Syst.”, 34, 2018, pp. 1095-1101.

moderna *anatomia radiologica*. Essa si differenzia dalla sua sorella maggiore, l'anatomia umana basata sulle tecniche settorie, per una fondamentale caratteristica: consente di osservare il corpo umano, anche in profondità, in modo non invasivo, non cruento. Ciò avviene mediante l'esposizione del corpo umano a differenti tipi di energia e alla registrazione dell'effetto di questa esposizione con tecniche in passato analogiche, da oltre due decenni digitali. Il ruolo crescente della *computer science* è oggi marcato dalle iniziali evidenze delle potenzialità delle tecniche di intelligenza artificiale (*machine/deep learning*) in questo ambito. È quindi ancora più sorprendente osservare la corrispondenza tra molti disegni anatomici di Leonardo con le immagini ottenute da queste tecniche avanzate di *imaging* medicale.

3. *Da Roentgen ai giorni nostri*

L'8 novembre 1895 il fisico tedesco Wilhelm Conrad Roentgen è protagonista della scoperta dei “raggi X”, denominazione legata alla natura sconosciuta di queste radiazioni. In una celebre intervista, quando il giornalista del *Pearson's Magazine* gli chiese di che cosa fossero costituiti questi raggi, la risposta di Roentgen fu: “Non lo so”. Uno scritto del 23 gennaio 1896 ad opera di Karl Bernhard Lehmann, ai tempi Presidente dell'Associazione Fisico-medica di Würzburg, rende bene l'idea dell'atmosfera dei mesi immediatamente successivi alla presentazione da parte di Roentgen del suo lavoro intitolato *Eine Neue Art von Strahlen* (“Un nuovo tipo di raggi”). La vicenda, narrata in un testo di Ruggero Balli, vede gli scienziati dell'associazione riuniti intorno ai loro boccali di birra abbandonarsi ad ogni sorta di supposizioni: “anche le più alate aspettative furono in seguito di gran lunga inferiori ai fatti”⁴.

La scoperta dei raggi X – come bene illustra Giorgio Cosmacini nella sua magistrale biografia dello scienziato tedesco⁵ – è la prima di una serie di scoperte che portano a compimento la crisi della fisica classica. Seguiranno, a pochi mesi, la scoperta dell'elettrone da parte di Joseph J. Thomson e quella della radioattività naturale da parte di Henri Becquerel ed Ernest Rutherford. Quella crisi troverà una soluzione, ancora oggi parziale, nella teoria della relatività e nella meccanica quantistica. La scoperta

⁴ R. Balli, *Semeiotica e Diagnostica Röntgen*, A. Wassermann & C., Milano 1943, pp. 14-15.

⁵ G. Cosmacini, *Röntgen. Il fotografo dell'invisibile, lo scienziato che scoprì i raggi X*, Rizzoli, Milano 1983.

dei raggi X – che oggi sappiamo essere radiazioni elettromagnetiche di elevata energia – valse a Roentgen il premio Nobel per la fisica, che gli fu consegnato nel 1901, a soli 5 anni dalla scoperta.

Nel frattempo, i medici avevano iniziato a cimentarsi con l'uso dei raggi X. Le prime applicazioni riguardavano la valutazione delle strutture scheletriche, “radiografate” grazie al contrasto intrinseco offerto dalle strutture ossee in virtù dell'elevato contenuto in calcio che attenua marcatamente il passaggio dei raggi X. I pionieri della radiologia si trovarono di fronte ad una visione inedita del corpo umano: un insieme di “ombre” da interpretare. Per prima cosa, fu necessario definire l'anatomia radiologica normale, compito solo apparentemente semplice. Charles Thurstan Holland, un radiologo pioniere di Liverpool, diceva che in quel periodo “non c'erano esperti, non c'era letteratura, e nessuna conoscenza del normale, per non parlare dell'anormale”⁶.

Gli esordi della radiologia non furono solo difficili, ma anche pericolosi. L'uso estensivo dei raggi X senza alcun tipo di protezione mostrò ben presto i suoi effetti. Numerosi furono gli incidenti, alcuni intrinseci alle prime apparecchiature (shock elettrici), altri legati ai danni biologici provocati dalle radiazioni. Nel 1936 fu eretto ad Amburgo il primo memoriale per le vittime dei raggi X. L'opinione pubblica iniziò ad interessarsi al tema del danno da radiazioni e fu progressivamente introdotto il concetto di *radioprotezione*. Negli anni Trenta furono formati i primi “comitati per la protezione dai raggi X” e nel 1957 le Nazioni Unite espressero per la prima volta la loro preoccupazione attraverso una dichiarazione finalizzata a limitare l'uso delle radiazioni in ambito medico. Successivamente venne definito il principio “ALARA”, acronimo inglese di “*as low as reasonably achievable*”, riferito all'obiettivo di mantenere l'esposizione ai raggi X a livelli il più possibile contenuti compatibilmente con l'obiettivo diagnostico/terapeutico da raggiungere.

In quegli anni si apre una prima via alternativa ai raggi X: gli ultrasuoni (che erano serviti per localizzare i sottomarini nemici prima e i banchi di pesce poi) entrano in medicina e allargano il campo: non più solo “radiazioni”. Ma all'inizio degli anni Settanta, la diagnostica a raggi X evolve in modo davvero significativo: la vecchia “tomografia” convenzionale si muta in “computerizzata” (TC). Il suo inventore è un ingegnere inglese, Sir Godfrey Hounsfield, finanziato dalla casa discografica dei Beatles. Nel 1979 riceve il premio Nobel per la Medicina insieme al collega Allan

⁶ A.M.K. Thomas, A.K. Banerjee, *The History of Radiology*, Oxford University Press, Oxford 2013, pp. 20-21.

Cormack. Dalle prime apparecchiature che consentono solo lo studio della testa, si passa in pochi anni a quelle cosiddette “total body”. Sebbene sia le tecniche radiografiche sia la TC utilizzino i raggi X, la differenza è sostanziale. La radiografia fornisce una somma di ombre mediante un’immagine bidimensionale, la TC visualizza l’oggetto indagato mediante strati o “fette” di spessore variabile, ossia ne consente l’indagine tridimensionale, per sezioni, che permette di localizzare le strutture a diversi livelli di profondità, in modo analogo a quanto rappresentato dagli atlanti di anatomia topografica. I tempi di acquisizione ed elaborazione si sono progressivamente ridotti e così è stato anche per le dosi di radiazioni. La somministrazione endovenosa dei mezzi di contrasto iodati ha migliorato la capacità di distinguere tra i diversi tessuti, normali e patologici, fino alle moderne apparecchiature cosiddette “spirali” e “multistrato”, che consentono lo studio di grandi volumi corporei e forniscono in pochi secondi ricostruzioni tridimensionali ad alta risoluzione⁷. Mezzo secolo dopo, l’evoluzione è ancora in corso. Nuove apparecchiature distinguono la frequenza dei fotoni emessi o registrati (TC spettrale), oppure sono in grado di “contare” i fotoni (*photon-counting*).

Gli anni Ottanta vedono l’esordio clinico della risonanza magnetica nucleare, poi divenuta semplicemente “risonanza magnetica” (RM) per evitare la falsa idea che il paziente fosse esposto a radiazioni ionizzanti di origine “nucleare”. La sua storia vede protagonisti numerosi scienziati, molti tra loro premiati con il premio Nobel. Ricordiamo Isaac Rabi nel 1944, Felix Bloch ed Edward Purcell nel 1952, Paul Lauterbur e Peter Mansfield nel 2003. Determinanti furono anche, negli anni Settanta, le ricerche di Raymond Damadian sulla possibilità di discriminazione mediante risonanza magnetica tra tessuti normali e tumorali.

La RM ottiene immagini del corpo umano mediante campi magnetici e radiofrequenze, queste ultime radiazioni elettromagnetiche a bassa energia, non ionizzanti. Le prime immagini sull’uomo risalgono alla fine degli anni Settanta, il primo utilizzo clinico nel 1981. Come per la TC, le prime applicazioni della RM hanno riguardato l’encefalo, ma in breve tempo si capì che potevano essere studiati l’addome, il sistema muscolare e osseo, la colonna vertebrale con il midollo spinale in essa contenuto, il cuore, tutti i tessuti molli, per arrivare alla valutazione del feto durante la gravidanza. Anche in questo caso, l’introduzione dei mezzi di contrasto per via endovenosa (a base di gadolinio) ha migliorato le possibilità di caratterizzazione

⁷ G. Cittadini, G. Cittadini, F. Sardanelli, *Diagnostica per immagini e radioterapia*, Edra, Milano 2015.

tessutale. L'evoluzione tecnologica è in corso, soprattutto verso apparecchiature con intensità di campo via via superiore, da 1.5 a 3, a 7 tesla.

4. I primi studi anatomici di Leonardo: l'apparato locomotore

Le prime ricerche anatomiche di Leonardo da Vinci si concentrano sull'apparato locomotore e sono intrinsecamente legate all'attività pittorica: lo scopo dichiarato, almeno agli inizi delle sue ricerche, è raffinare la rappresentazione dei soggetti umani attraverso una migliore comprensione delle strutture anatomiche che danno la forma esteriore dei corpi. “Questa dimostrazione” – scrive – “è tanto necessaria a' buoni disegnatori quanto alli buoni grammatici le derivazioni de' vocaboli latini, perché male farà li muscoli delle figure nelli movimenti e azioni di tal figure chi non sa quali sieno li muscoli che sono causa delli lor movimenti”.

Tuttavia, già in questa fase moltissime raffigurazioni iniziano a trascendere le esigenze artistiche per approfondirsi nella descrizione meticolosa dei dettagli anatomici e dello studio funzionale delle varie strutture: sono significativi in tal senso i disegni di RL19008R (fig. 1), ove alla descrizione

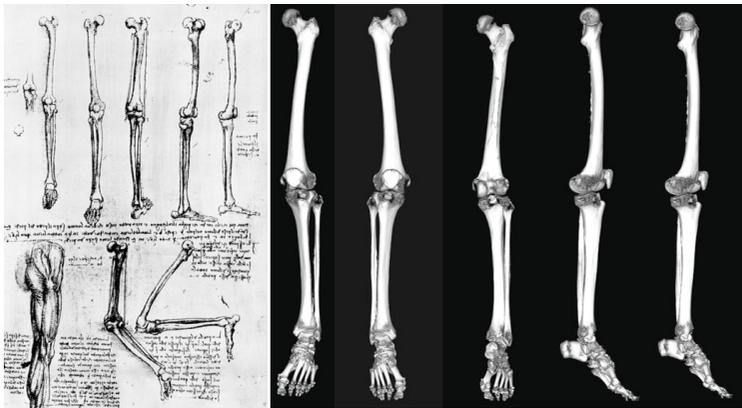


Fig. 1. RL 19008R: studi anatomici sull'ossatura delle estremità inferiori e sui movimenti delle articolazioni di piede e ginocchio (1509-1510 circa). Le immagini radiologiche poste a confronto sono quattro ricostruzioni tridimensionali di immagini di tomografia computerizzata ottenute con algoritmo specifico per la visualizzazione delle strutture ossee, selezionate per replicare le proiezioni dell'arto inferiore scelte da Leonardo nei suoi disegni: anteriore sinistra, anteriore destra, posteriore destra, mediale sinistra.

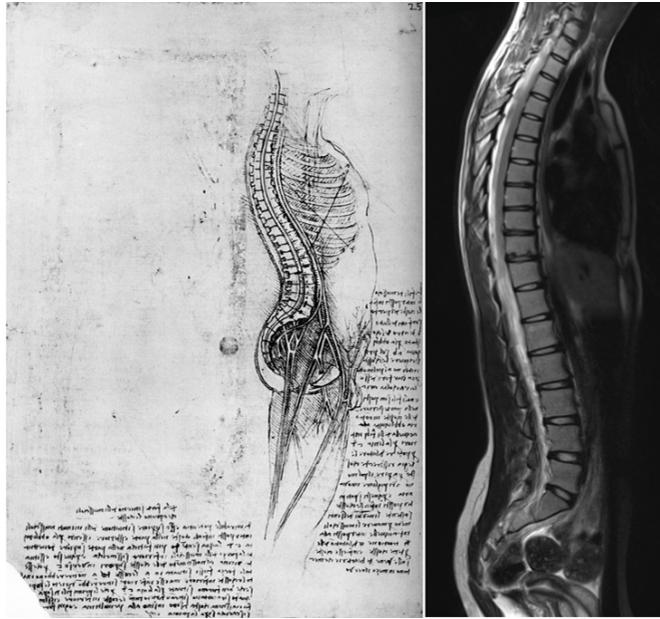


Fig. 2. RL 19114R: studi anatomici sulla curvatura della colonna vertebrale, sul midollo spinale e sulla muscolatura intercostale (1506-1508 circa). L'immagine radiologica posta a confronto è ottenuta mediante risonanza magnetica. Rappresenta una sezione sagittale della colonna vertebrale passante al centro dei corpi vertebrali e del canale vertebrale.

delle ossa dell'arto inferiore si accompagna la ricerca sul movimento di flessione-estensione della gamba sulla coscia, con dettaglio dei muscoli schematizzati come “cavi” tesi fra i vari distretti ossei. Tale raffigurazione evidenzia la necessità da parte di Leonardo di analizzare anche dal punto di vista ingegneristico le strutture anatomiche, poste così sullo stesso piano delle formidabili macchine che lo stesso Genio di Vinci progettava.

Fra le varie strutture dell'apparato locomotore, la colonna vertebrale ha attratto particolarmente l'interesse di Leonardo che per primo ne descrisse le tipiche curvature (lordosi lombare e cifosi toracica, fig. 2). La struttura dei corpi vertebrali è rappresentata in maniera ancora rudimentale, così come le articolazioni costo-vertebrali. Inoltre, non mancano errori nella raffigurazione dei processi spinosi delle vertebre, così come del midollo spinale che occupa l'intero canale vertebrale⁸.

⁸ G. Bowen, J. Gonzales, J. Iwanaga, C. Fisahn, M. Loukas, R.J. Oskouian, R.S. Tubbs, *Leonardo da Vinci (1452-1519) and his depictions of the human spine*, “Child's Nerv. Syst.”, 33, 2017, pp. 2067-2070.

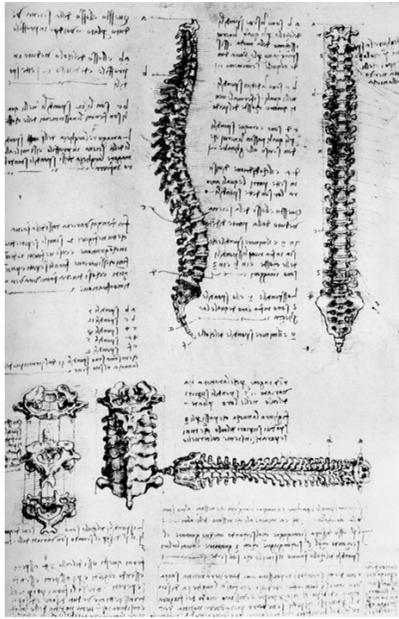


Fig. 3. RL 19007R: studi anatomici sulla colonna vertebrale (1510).

Tuttavia, in disegni di epoca successiva l'architettura dei corpi vertebrali viene messa a fuoco in maniera più precisa grazie alle numerose dissezioni anatomiche eseguite, come evidenziato dai disegni di RL 19007R, due-quattro anni dopo il primo (fig. 3). Nel dettaglio, la forma dei corpi vertebrali è più definita, così come i relativi processi spinosi. Tale esempio dimostra che i disegni leonardeschi non sono esenti da errori e che vengono sottoposti a continue revisioni dalle ricerche successive.

Contestualmente alla ricerca, si assiste allo sviluppo di una nuova raffigurazione anatomica che costituisce un'assoluta innovazione rispetto a disegni scientifici coevi. Ne è un esempio un disegno in cui Leonardo pone a confronto un'immagine frontale di un cranio con una sezione coronale che mette in evidenza i seni paranasali frontali e mascellari, gli elementi dentari e il canale mandibolare con il forame mentoniero (fig. 4). È da osservare che nello stesso disegno viene riportata la prima formula dentaria descritta in letteratura (il numero di denti per arcata è affiancato alla figura del tipo di dente: 6 molari, 4 premolari, 2 canini, 4 incisivi)⁹: i disegni dei denti evidenziano

⁹ P.O. Gerrits, J.G. Veening, *Leonardo da Vinci's "A skull sectioned"*, "Clin. Anat.", 26, 2013, pp. 430-435.



Fig. 4. RL 19058V: studio anatomico del cranio umano in sezione sagittale, veduta frontale (1489): si noti in alto a sinistra la descrizione della formula dentaria.

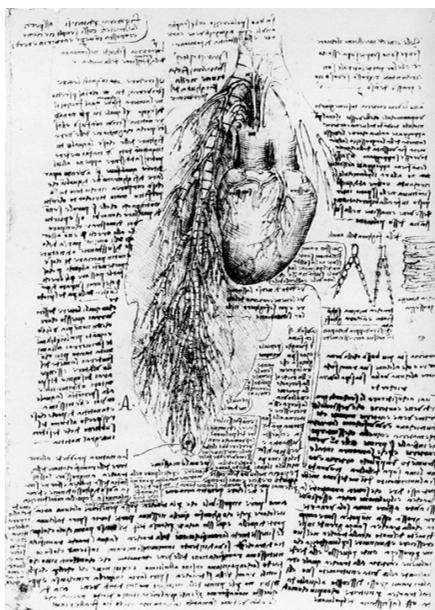


Fig. 5. RL 19071R: disegno anatomico del polmone e del cuore (di un bue) (1513 circa).

la tipica usura dello smalto, molto frequente nei secoli passati. È da osservare che l'utilizzo di sezioni virtuali delle strutture anatomiche è del tutto inedito nella scienza del tempo ed è oggi comune nei testi moderni.

5. *L'apparato cardiovascolare: il confronto con l'anatomia galenica e gli studi di ingegneria*

Fra i vari apparati studiati da Leonardo, quello cardiovascolare ha attratto il suo interesse in maniera particolare. Non è un caso se l'unica struttura anatomica che porta il suo nome appartiene al cuore (il *fascio moderatore* di Leonardo da Vinci). Nei suoi scritti il cuore viene definito “strumento mirabile, invenzionato dal sommo Maestro”, espressione che mostra tutta l'ammirazione per le caratteristiche strutturali e il funzionamento di questo organo (fig. 5).

Uno dei meriti del Genio di Vinci è la nuova concezione del cuore, visto non più come sede di origine degli spiriti vitali, come stabilito dal modello galenico, ma come strumento meccanico il cui funzionamento poteva essere compreso in maniera analoga a una macchina idraulica. Per la prima volta si mette in correlazione la contrazione cardiaca con l'azione di fibre muscolari variamente intersecate fra loro: Leonardo afferma che la contrazione cardiaca dipende dallo stiramento delle fibre muscolari, intuendo le basi della legge di Laplace, teorizzata più di due secoli dopo. Analogamente, Leonardo approfondisce le modalità di riempimento e contrazione delle diverse camere cardiache, osservando per la prima volta l'asincronia fra atri e ventricoli¹⁰. Questa concezione meccanicista è dimostrata anche da un disegno di Leonardo nel quale per la prima volta si raffigura un modello di cuore artificiale, costituito da camere separate da sportelli.

Leonardo è stato inoltre il primo a descrivere il decorso delle arterie coronarie e ad averne compreso la funzione (scrive infatti che tramite questi vasi “il cuore nutre sé stesso”, fig. 6).

Anche le valvole cardiache sono oggetto di analisi, in particolar modo la valvola semilunare aortica. Leonardo ne descrive minuziosamente la morfologia e mostra nei suoi disegni di comprenderne anche il meccanismo di chiusura, basato sullo sviluppo di moti turbolenti fra i lembi valvolari e la parete del vaso. In uno dei suoi appunti viene inoltre descritta

¹⁰ M.M. Shoja, P.S. Agutter, M. Loukas, B. Benninger, G. Shokouhi, H. Namdar, K. Ghabili, M. Khalili, R.S. Tubbs, *Leonardo da Vinci's studies of the heart*, “Int. J. Cardiol.”, 167, 2013, pp. 1126-1138.



Fig. 6. RL 19050R: disegni anatomici del cuore e dei suoi vasi (1513 circa); notare in basso a destra alcuni schizzi della morfologia della valvola semilunare aortica. L'immagine radiologica posta a confronto è una ricostruzione tridimensionale del cuore umano ottenuta tramite tomografia computerizzata dopo somministrazione endovenosa di mezzo di contrasto iodato.

una macchina che avrebbe approntato per dimostrare in maniera pratica questo meccanismo. Nel 2002 uno studio ingegneristico ha dimostrato che questo dispositivo così come è descritto da Leonardo è funzionante, confermando una volta di più la grande abilità del Genio di Vinci nel fondere anatomia e ingegneria creando modelli del tutto innovativi¹¹.

Nonostante le grandi scoperte, negli appunti di Leonardo si ritrovano alcuni errori galenici presenti anche nei testi accademici. Ad esempio, disegna il setto interventricolare percorso da canali o “pori”, immaginando una comunicazione diretta fra il ventricolo destro e il ventricolo sinistro del cuore (fig. 7). Allo stesso modo, in alcuni disegni mostra di seguire la teoria galenica secondo la quale le vene portano sangue dal fegato ai tessuti con funzioni nutritive e le arterie portano l'aria al resto del corpo (fig. 8).

Tuttavia la lezione anatomica dell'apparato cardiovascolare fu fondamentale: molti meccanismi scoperti da Leonardo nel cuore furono replicati negli studi di ingegneria civile, ed in particolar modo nella progettazione del sistema di Navigli della città di Milano.

¹¹ M. Gharib, D. Kremers, M.M. Koochesfahani, M. Kemp, *Leonardo's vision of flow visualization*, “Exp. Fluids”, 33, 2002, pp. 219-223.

Nell'ambito cardiovascolare infine Leonardo descrive un caso di aterosclerosi in un soggetto ultracentenario deceduto nell'Ospedale di Santa Maria Nuova: osserva che le arterie sono più rigide della norma e intuisce che questo fenomeno è alla base della morte del paziente. Si tratta della prima trattazione di questa patologia.

6. *L'apparato genitale e i primi studi di embriologia*

Moltissimi appunti di Leonardo contengono disegni di apparati genitali, sia maschili che femminili (fig. 9). Molti di questi studi sono estremamente moderni nella loro concezione, come il disegno raffigurante due persone durante un coito “tagliate” da una sezione sagittale (RL 12597, 1488-1490 circa). Queste raffigurazioni, che includono anche gli schizzi raffiguranti la posizione dei feti nell'utero materno, fanno parte di un vasto argomento di studio di Leonardo, che oggi può essere compreso nell'ambito della moderna embriologia. Il Genio di Vinci mostra un grande interesse nei confronti dell'origine della vita, dello sviluppo del feto e



Fig. 7. RL 19072V: disegno anatomico del cuore e dei suoi vasi (1513 circa): si noti in alto a destra uno schema del cuore con setto interventricolare “poroso”, in omaggio alle teorie galeniche.

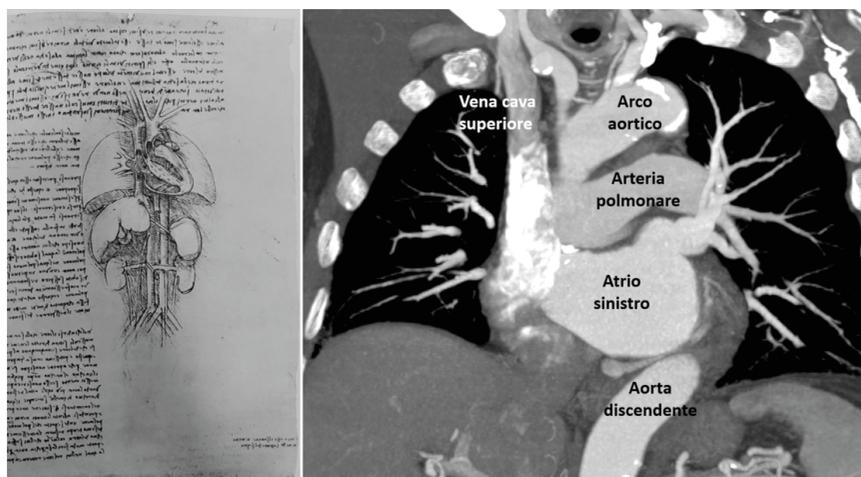


Fig. 8. RL 19112R: studio anatomico su polmone e cuore (1508-1509 circa): da notare che Leonardo disegna una comunicazione diretta fra il polmone destro e le camere cardiache, in accordo con l'idea galenica che il cuore porti aria ai tessuti periferici tramite le arterie. L'immagine radiologica posta a confronto è una ricostruzione bidimensionale del cuore e dei grandi vasi passante per l'atrio sinistro, ottenuta mediante tomografia computerizzata dopo somministrazione endovenosa di mezzo di contrasto iodato.

dei meccanismi della nascita, tutti argomenti che ai suoi tempi erano più materia teologica che scientifica. È significativo che, nell'ipotetica introduzione ai suoi studi di anatomia, dichiarò fin dall'inizio che “questa opera si debbe principiare alla concezione dell'omo e descrivere il modo della matrice e come il putto l'abita e in che grado lui risegga in quella e 'l modo dello vivificarsi e cibarsi, e 'l suo accrescimento a uno altro e che cosa lo spinga fuori dal corpo della madre e per che cagione qualche volta lui venga fori dal ventre di sua madre innanzi al debito tempo”. Nello stesso disegno sopra citato, scrive “scopro alli uomini l'origine della loro seconda, prima o forse seconda, cagione di loro essere”: l'esatto significato di queste parole non è ancora chiarito, ma dimostrano che lo scopo delle ricerche era l'origine dell'uomo, sin dal concepimento.

In molti casi le scoperte di Leonardo in questo ambito sono affette da errori, spesso di origine galenica: nello stesso disegno (RL 12597) Leonardo raffigura una comunicazione diretta fra il midollo spinale e i genitali maschili tramite un canale. Questa struttura inesistente era ipotizzata da Galeno che vedeva nel midollo spinale l'origine della vita (idea forse derivante dall'osservazione degli esiti di lesioni midollari). Tuttavia, in un altro disegno raffigurante gli organi genitali maschili, Leonardo corregge

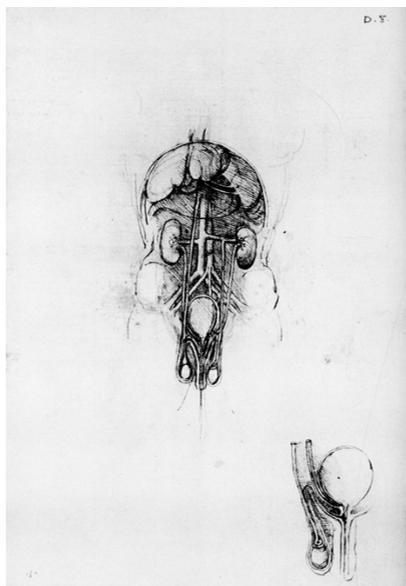


Fig. 9. RL 19099R: disegni anatomici dei genitali maschili con i canali spermatici (1508-1509 circa).

l'errore eliminando questo canale inesistente (RL 19097). Si tratta di una dimostrazione chiara della capacità di Leonardo di correggere i suoi errori sulla base delle scoperte effettuate dissezionando cadaveri¹². A lui inoltre si deve la prima descrizione delle strutture embrionali (chorion, amnios, allantoide), nonché l'affermazione che la circolazione materna e fetale non siano in comunicazione, anticipando così le scoperte di William Harvey (1651) e William Hunter (1774)¹³.

7. La neuroanatomia: fra sperimentazione e morfologia

Anche la neuroanatomia ha costituito un ambito di notevole interesse per Leonardo, sebbene al suo tempo non fossero ancora noti i meccanismi elettrochimici di funzionamento del sistema nervoso. Un esempio è

¹² D. Noble, D. DiFrancesco, D. Zancani, *Leonardo da Vinci and the origin of semen*, "Notes Rec.", 68, 2014, pp. 391-402.

¹³ P.M. Dunn, *Leonardo da Vinci (1452-1519) and reproductive anatomy*, "Arch. Dis. Child.", 77, 1997, pp. F249-F251.

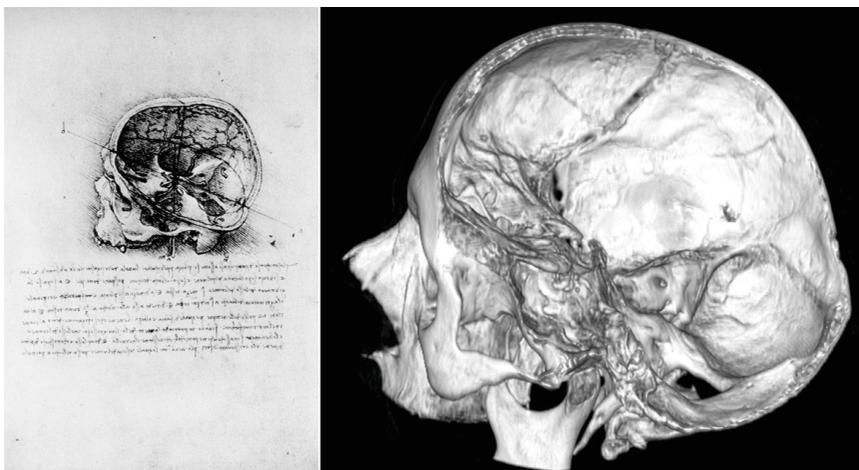


Fig. 10. RL 19058R: disegno anatomico in sezione sagittale del cranio, veduta laterale con i nervi cranici (1489); da notare le linee rette convergenti che indicherebbero, alla loro intersezione, la sede del “senso comune”. L'immagine radiologica posta a confronto è una ricostruzione tridimensionale di immagini del cranio ottenute mediante tomografia computerizzata con algoritmi specifici per la visualizzazione delle strutture ossee, e successiva eliminazione manuale di segmenti ossei.

costituito dal disegno raffigurato in RL19058R, ove un cranio umano viene sezionato per mostrare la conformazione interna delle fosse craniche e la posizione dei nervi cranici (fig. 10). Anche in questo caso si osserva l'utilizzo di sezioni virtuali per mostrare diversi piani delle strutture anatomiche rappresentate: tale approccio si ritrova oggi in quasi tutti i testi anatomici moderni.

Nello stesso disegno viene mostrata la collocazione ipotetica di quello che Leonardo chiamava “senso comune” o confluenza dei sensi, ovvero l'anima, seguendo il tentativo di origine medievale di trovare la sede delle funzioni spirituali nelle strutture cerebrali¹⁴. Nella ricostruzione leonardesca tale posizione corrisponde al terzo ventricolo.

Particolare attenzione ha avuto negli studi leonardeschi il sistema ventricolare cerebrale, considerato la sede delle funzioni spirituali. Nei suoi appunti riferisce di essere riuscito a riprodurre la forma iniettando cera liquida all'interno delle cavità ventricolari di un bue. In un disegno conservato allo Schlossmuseum di Weimar viene riportata la forma così ottenuta.

¹⁴ J. Pevsner, *Leonardo da Vinci's contributions to neuroscience*, “Trends Neurosci.”, 25, 2002, pp. 217-220.

È da osservare che l'uso di cera per determinare la morfologia di strutture anatomiche è attestato per la prima volta nei lavori di Fredrik Ruysch, oltre un secolo dopo i disegni leonardeschi. Un'altra nota particolare riguarda il fatto che il disegno dei ventricoli cerebrali così ottenuti viene inserito all'interno di un profilo che riproduce quello di uno dei cavalieri de "La battaglia di Anghiari", opera perduta del Maestro di Vinci. Questo esempio illustra in maniera perfetta la fusione di anatomia e arte negli appunti leonardeschi.

Leonardo fu anche il primo ad analizzare in maniera dettagliata il midollo spinale del quale evidenzia la stessa natura del cervello "dal quale origina" e che riconosce come punto di partenza dei nervi.

8. *Conclusioni*

Lo sviluppo scientifico e tecnologico degli ultimi cinque secoli ha favorito straordinari mutamenti nella vita della nostra specie. Uno dei più clamorosi e inediti è l'allungamento della vita media al quale la medicina contemporanea dà il suo contributo anche mediante le immagini radiologiche. Eppure la nostra biologia, in particolare la nostra anatomia, è sempre la stessa, da un tempo molto più remoto. Non deve perciò stupire che questa nostra anatomia, studiata con le più moderne tecnologie, si dimostri aderente a quella descritta da Leonardo.

Leonardo vede di più e meglio di molti altri perché esplora direttamente i corpi e mette in discussione le conoscenze dell'anatomia galenica, stancamente ripetuta durante le dissezioni accademiche, e la supera. Le immagini, prodotte da potenti computer, gli rendono omaggio. Hanno l'accuratezza e la precisione degli inizi del terzo millennio, ma non il fascino dei suoi disegni.

Edizioni ETS
Palazzo Roncioni - Lungarno Mediceo, 16, I-56127 Pisa
info@edizioniets.com - www.edizioniets.com
Finito di stampare nel mese di maggio 2020