

Sangue, cera, inchiostro: Leonardo disegna il cuore*

Frank Fehrenbach
Universität, Hamburg

Nell'inverno del 1512-13, nel corso di una continua ricerca dedicata alle fondamentali manifestazioni biologiche della vita, Leonardo si concentra sulla fisiologia cardiovascolare, e in particolare sull'emodinamica. Gli studi di questo periodo, in un certo senso, proseguono un progetto di ricerca che egli aveva già avviato nelle primissime fasi dei suoi studi anatomici: "Questa opera si deve principiare alla concettione 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"¹. Queste note non si discostano mai dai presupposti stabiliti in precedenza da Leonardo: "Dove è vita, lì è calore e dov'è calore vitale, qui v'è movimento d'omori"².

Per poter comprendere la vita organica, Leonardo deve spiegare la distribuzione del sangue nel corpo, e di conseguenza anche l'attività cardiaca. I suoi *thought experiments* sulle funzioni del cuore iniziano con la dissezione di tori e bovini; tra le ragioni che lo spingono a spostarsi a Roma nel 1513 potrebbe infatti esserci stata anche la speranza di ottenere un accesso più facile a cadaveri umani, per completare così la sua "giegografia

[sic] del core"³. Una delle caratteristiche di questa nuova campagna di studi anatomici è la volontà di definire un modellato del corpo più rigoroso e scultoreo. Leonardo raccomanda, ad esempio, di versare della cera nelle cavità corporee: "Ma gitta prima la cera in essa porta d'un core di bo [bue] acciò che tu veda la vera figura d'essa porta"⁴. Lo stesso metodo si proponeva di fornire un'idea più chiara dei ventricoli del cervello, la sede dei processi mentali fondati sull'attività dello spirito:

Fa 2 sfiatatoi ne' corni de' ventriculi maggiori e metti la cera fonduta collo scizatoio facendo un buso nel ventriculo della memoria e enpi per tale buso li 3 ventriculi del cervello e poi quando la cera è rassodata disfa il cervello e vedrai la figura delli tre ventriculi di punto. Ma prima metti le canne sottili nelli sfiatatoi acciò che l'aria che è in essi ventriculi possa spirare e dar loco alla cera che entra in nelli ventriculi⁵.

In entrambi i casi, il tassidermista procede non solo in maniera analoga al fonditore di statue in bronzo, ma, così facendo, imita anche il processo dell'invecchiamento e della cognizione. Dopo aver versato della cera al posto del sangue nelle camere cardiache, l'irrigidimento del materiale riflette il naturale processo di sclerosi del sistema vascolare, come in un *time-lapse*⁶. Nel caso del cervello invece il procedimento rispecchia la direzione dell'attività mentale basata sulla memorizzazione, in cui lo spirito si muove dal retro del cervello verso il suo centro. A questo proposito si noti che sono gli stessi studi anatomici di Leonardo a essere basati sulla memoria: solo in alcuni disegni di datazione tarda dedicati allo

* Desidero ringraziare Francesca Borgo per la traduzione del testo dall'inglese e per i suoi preziosi suggerimenti.

¹ KP 81v / W 19037v / Anat. Ms B 20v. Cfr. gli studi fondamentali sull'anatomia di Leonardo: *Leonardo da Vinci. Corpus of the anatomical studies in the collection of Her Majesty the Queen at Windsor Castle*, a cura di K. Keele e C. Pedretti, 3 voll., London-New York, 1978-1980 (cit. come KP); M. KEMP, *Dissection and divinity in Leonardo's late anatomies*, in "Journal of the Warburg and Courtauld Institutes", vol. 35, 1972, pp. 200-225; ID., *Leonardo da Vinci. The marvellous works of nature and man*, London-Cambridge (Mass.), 1981; *Leonardo da Vinci: the anatomy of man. Drawings from the collection of Her Majesty Queen Elizabeth II*, a cura di M. Clayton, catalogo della mostra (Houston, The Museum of Fine Arts, 28 giugno 1992-6 settembre 1992; Boston, The Museum of Fine Arts, 11 dicembre 1992-21 febbraio 1993), Boston, 1992; D. LAURENZA, *Leonardo. L'anatomia*, Firenze, 2009.

² Ms A, f. 55v: *Leonardo da Vinci. I Manoscritti dell'Institut de France*. Parigi, Bibliothèque de l'Institut de France, ed. in fac-simile con trascrizione diplomatica e critica di A. Marinoni, 12 voll., Firenze, 1986-1990 (Edizione Nazionale dei Manoscritti e dei Disegni di Leonardo da Vinci), 1990.

³ KP 165v / W 19078v / Quad. II 8v. Sulla disponibilità di corpi per la dissezione a Roma si veda A. CARLINO, *Books of the body. Anatomical ritual and Renaissance learning*, Chicago, 1999, pp. 69-119.

⁴ KP 171r / W 19082r / Quad. II 12r.

⁵ KP 104r / W 19127r / Quad. V 7r.

⁶ Sulla patologia vascolare in Leonardo si veda K.D. KEELE, *Leonardo da Vinci on movement of the heart and blood*, London, 1952, pp. 117-121.

studio dei fluidi corporei il foglio è macchiato da tracce di liquido organico che derivano dalla dissezione⁷.

Ulteriore conseguenza di questo nuovo rigore funzionale è la creazione di modelli anatomici, in questo caso un modello in vetro dell'aorta⁸: "Fa questa prova di vetro e movici dentro acqua e panico. Il moto incidente apre le porte del core e 'l moto refresso le riserra"⁹. Questa soluzione deriva direttamente dagli studi idrologici sulla turbolenza nei fluidi, che culminano attorno al 1508. Leonardo raccomanda qui di marcare l'acqua con l'aggiunta di sostanze coloranti o grani, "perché mediante il moto d'essi grani potrai speditamente cognoscere il moto dell'acqua, che con seco gli porta e di questa tale sperienza potrai investigare molti belli moti, che accaggiano dell'uno elemento penetrato nell'altro"¹⁰.

Il progettato modello in vetro dell'aorta suggerisce un'altra caratteristica della tarda anatomia funzionale di Leonardo, ovvero la riduzione metodologica di variabili, un procedimento questo che riflette un approccio meccanicistico alle funzioni vitali, come sottolineato da un appunto anatomico sul foglio KP 143r: "Fa che 'l libro delli elementi machinali colla sua pratica vada inanzi alla dimostrazione del moto e forza dell'uomo e altri animali e mediante quelli tu potrai provare ogni tua propositione". In opposizione alla tradizione precedente le arterie, ad esempio, sono semplici recipienti, privati dell'ipotesi galenica che li vorrebbe dotati della possibilità di dilatarsi: in Leonardo, queste sono solo passivi trasmettitori delle pulsazioni cardiache¹¹. Leonardo non distingue poi in dettaglio i diversi fluidi tradizionalmente ritenuti responsabili della vita: *calor in-*

natus, spiritus vitalis e sangue, e si interessa invece quasi esclusivamente della distribuzione del sangue caldo¹². È significativo che all'aria dei polmoni – che per Galeno era l'elemento fondamentale degli spiriti vitali – sia categoricamente precluso l'accesso ai ventricoli cardiaci¹³. Tradizionalmente il calore vitale era ritenuto il *deus ex machina* responsabile della formazione di sostanze eterogenee (attraverso la *pepsis*, o fermentazione), ma per Leonardo, che non mostrò mai un vivo interesse per la chimica, lo scopo principale del riscaldamento del sangue era il moto accidentale (in senso aristotelico) da opporre al moto naturale della gravità, un moto in grado quindi di spingere dal cuore alla parte superiore del corpo, e dalle parti inferiori all'intestino attraverso il riflusso sanguigno, in quanto parte del ciclico metabolismo dei tessuti¹⁴. In questo contesto, è significativo notare quanto Leonardo cerchi di ridurre la componente muscolare del cuore al minimo. Scopo principale del modello in vetro dell'aorta era precisamente dimostrare la plausibilità di un meccanismo idrodinamico in grado di auto-regolarsi. Alla fine Leonardo elimina persino la tradizionale concezione ippocratea¹⁵ del cuore come forno – dotato cioè di *calor innatus* – in favore di un modello meccanicistico del calore basato sull'idrodinamica. Leonardo era convinto che, come conseguenza di una sistole, solo una piccola porzione di sangue sfuggisse dai ventricoli per continuare così il suo lento, ritmico movimento verso le periferie dell'organismo. Per poter evitare che una grande quantità di sangue fuoriuscisse dal ventricolo sinistro del cuore, le valvole si dovevano quindi chiudere velocemente dopo la contrazione.

Leonardo elimina dunque un secondo attore muscolare, ipotizzando invece la presenza di un "neat little

⁷ Sulla normale direzione di percezione e cognizione dalla parte frontale del cervello verso il fondo cfr. *Leonardo da Vinci. Libro di pittura. Codice Urbinate lat. 1270 nella Biblioteca Apostolica Vaticana*, a cura di C. Pedretti, trascrizione critica di C. Vecce, 2 voll., Firenze, 1995, cap. 15. Sulla fisiologia dell'attività cerebrale D. SUMMERS, *The judgment of sense. Renaissance naturalism and the rise of aesthetics*, Cambridge, 1987. Per la rappresentazione in immagini, cfr. E. CLARKE, K. DEWHURST, *An illustrated history of brain functions. Imaging the brain from antiquity to the present*, San Francisco, 1996.

⁸ KP 171r / W 19082r / Quad. II 12r.

⁹ KP 115v / W 19116v / Quad. IV 11v.

¹⁰ Ms F 34r, *Leonardo da Vinci. I Manoscritti* 1988. Sull'idrodinamica in Leonardo, cfr. F. FEHRENBACH, *Licht und Wasser. Zur Dynamik naturphilosophischer Leitbilder im Werk Leonardo da Vincis*, Tübingen, 1997, pp. 193-256.

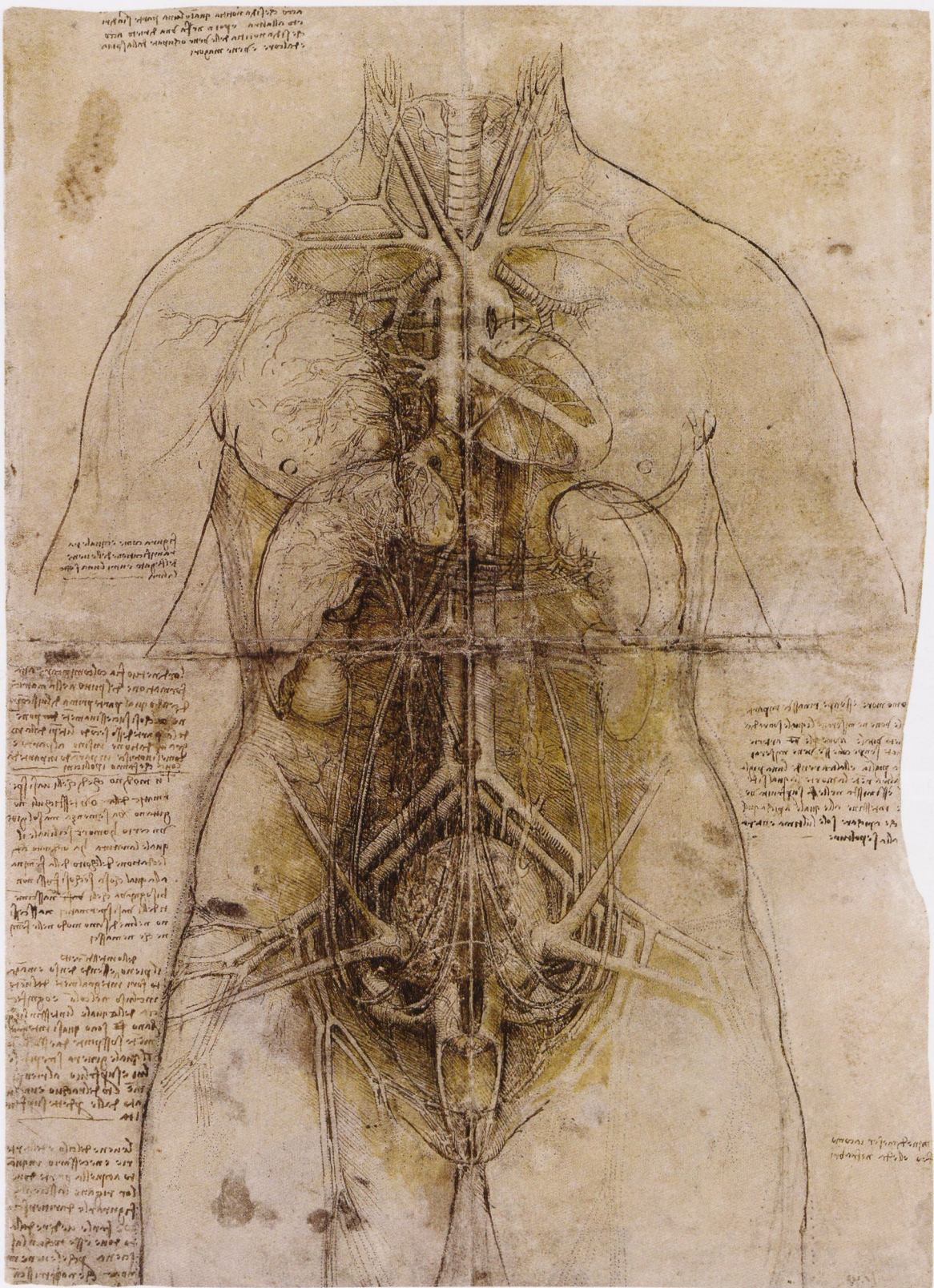
¹¹ Cfr. KEELE 1952, p. 93; sulla *vis pulsifica*, *attrahens* etc. in autori più tardi (Jean Fernel, per esempio) si veda T. FUCHS, *Die Mechanisierung des Herzens. Harvey und Descartes – der vitale und der mechanische Aspekt des Kreislaufs*, Frankfurt am Main, 1992, p. 36f.; J.J. BYLEBYL, *Disputation and description in the Renaissance pulse controversy*, in *The medical Renaissance of the Sixteenth Century*, a cura di A. Wear, R.K. French, I.M. Lonie, Cambridge, 1985, pp. 223-245.

¹² Cfr. KP 115r / W 19117r ("li spiriti vitali [...] sempre si mantengano nel caldo e umido"). Per un riassunto della nozione tradizionale e contemporanea (per esempio Gabriele Zerbi) sulla produzione e rarefazione del sangue nel corpo rimando a A. CUNNINGHAM, *The Anatomical Renaissance. The Resurrection of the Anatomical Projects of the Ancients*, Aldershot, 1997, pp. 49-51 e 64. Sul concetto di spirito in Leonardo si veda F. FROSINI, *Pittura come filosofia. Note su "spirito" e "spirituale" in Leonardo*, in "Achademia Leonardi Vinci", vol. 10, 1997, pp. 35-59. Sul *calidum innatum*, cfr. E. MENDELSON, *The development of the theory of animal heat*, Cambridge (Mass.)-London, 1964; A. PICHOT, *Histoire de la notion de vie*, Paris, 1993, pp. 87-109; G. FREUDENTHAL, *Aristotle's theory of material substance. Heat and pneuma, form and soul*, Oxford, 1995; M. MULSOW, *Frühneuzeitliche Selbsterhaltung. Telesio und die Naturphilosophie der Renaissance*, Tübingen, 1998, in particolare pp. 201-219; S. PERFETTI, *Aristotle's zoology and its Renaissance commentators (1521-1601)*, Leuven, 2000, pp. 95-96.

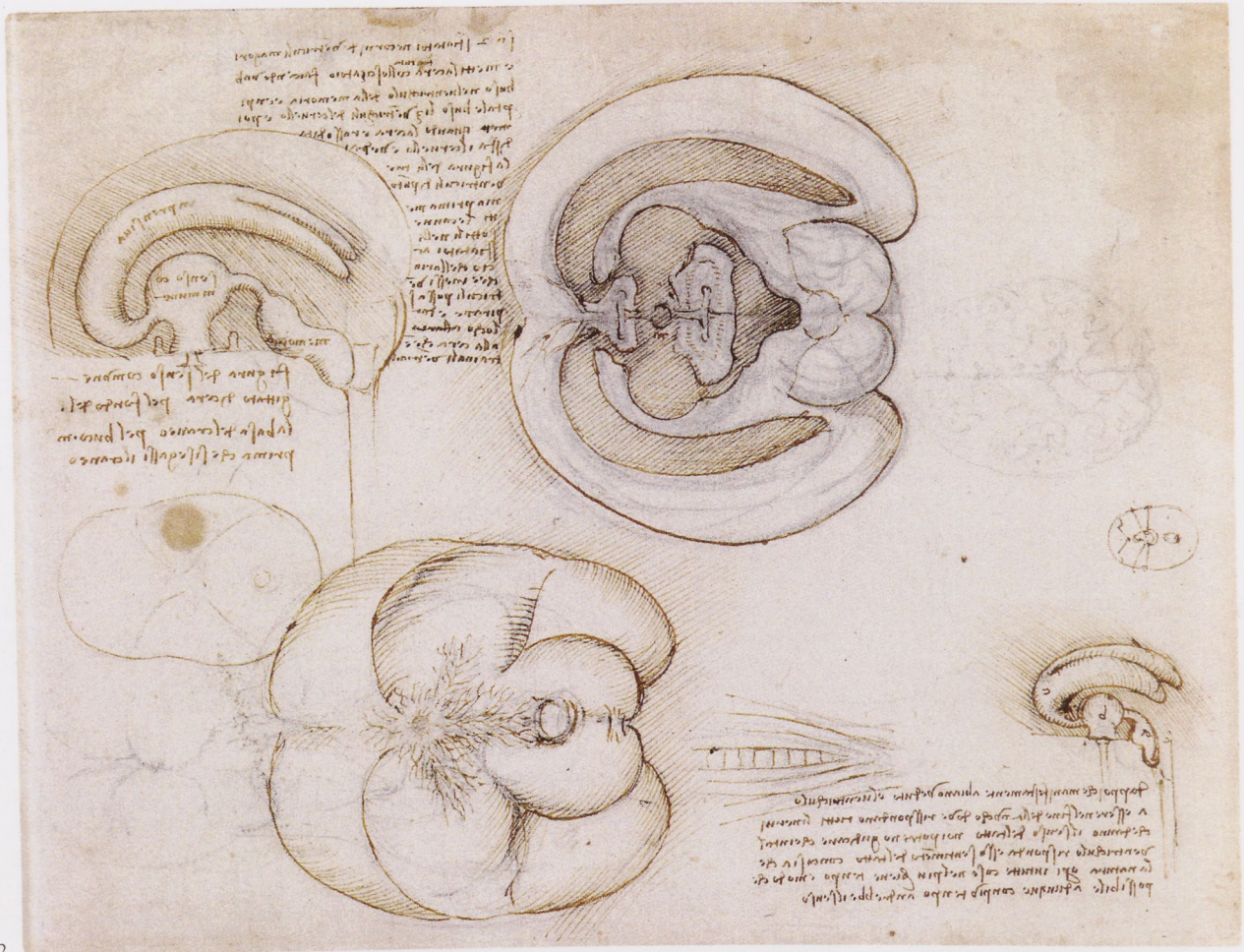
¹³ Cfr. KEELE 1952, pp. 66-67.

¹⁴ Ivi, pp. 94-95 e 101-104.

¹⁵ Cfr. PICHOT 1993, p. 18.



1. Leonardo da Vinci, *Anatomia del torso femminile*, KP 122r, ca. 1508-1510. Penna e inchiostro seppia acquerellato, tracce di gessetto nero e rosso su carta acquerellata ocre, forata per il trasferimento del disegno, 476 x 332 mm. Windsor Castle, Royal Library, 1228r (Royal Collection Trust/© Her Majesty Queen Elizabeth II 2016).



2



3

2. Leonardo da Vinci, *Anatomia del cervello*, KP 104r, ca. 1506-1508. Penna e inchiostro seppia (due tonalità) e gessetto nero, 200 x 262 mm. Windsor Castle, Royal Library, 19127r (Royal Collection Trust/© Her Majesty Queen Elizabeth II 2016). || 3. Leonardo da Vinci, *Studi sul flusso*, ca. 1508. Penna e inchiostro seppia, 145 x 100 mm. Paris, Bibliothèque de l'Institut de France, Ms F, f. 8r.

piece of natural engineering”, nell’espressione di Martin Kemp¹⁶. La funzione di questo meccanismo è così riassunta da Kemp: “This valve, constructed from three semilunar cusps, prevents the blood expelled into the artery from re-entering the heart. [...] On the contraction of the heart, blood forced its way between the center of the flexible cusps from beneath. The subsequent reflux of the blood in the vessel’s neck filled the cusps, reclosing the aperture during the expansion of the ventricle”¹⁷. Di conseguenza, il ritmico serrarsi della valvola cardiaca dipende interamente da “the reaction of the surging blood to the flask-like neck of the pulmonary artery”¹⁸.

I fenomeni di turbolenza idraulica diventano un’ossessione per Leonardo verso la metà degli anni Novanta del Quattrocento, ed è proprio questa fisica di flussi e riflussi a dominare i suoi studi anatomici più tardi. Già verso il 1492 Leonardo scrive:

Universalmente tutte le cose desiderano mantenersi in sua natura, onde il corso dell’acqua che si move cerca mantenere la potenza della sua cagione, e se trova contrastante opposizione, finisce la lunghezza del cominciato corso per movimenti circolari e retorti. L’acqua che per stretta bocca versa declinando con furia ne’ tardi corsi de’ gran pelaghi, perché nella maggior quantità è maggiore potenza e la maggiore potenza fa resistenza alla minore, in questo caso l’acqua sopra venente al pelago e percotendo la sua tarda acqua, quella, sendo sostenuta dall’altra, non po dare loco colla coveniente prestezza, e quella sopra venente non volendo tardare il suo corso, anzi fatta la sua percussione si volta indietro, seguitando il primo movimento con circolari retrosi [...]”¹⁹.

Leonardo non trova mai una risposta al problema del motore che innesca le contrazioni ritmiche del cuore, e di conseguenza nemmeno alla questione relativa alla sede dell’anima nel corpo. Non è però una esagerazione affermare che Leonardo ha in testa una soluzione squisitamente meccanicistica quando tenta di trovare una spiegazione al problema del “primo motore” della “macchina umana”. La sua ingegnosa giustificazione per il riscaldamento del sangue nel cuore (condizione necessaria al movimento e animazione di ogni organismo) indica fortemente questa direzione. Se l’acqua desidera continuamente “rincasare” all’elemento marino²⁰, e se

ogni fluido, come vuole Aristotele, desidera ritornare alla propria sfera di appartenenza, e quindi alla sfera delle acque, allora anche il sangue in circolo nell’organismo ha un desiderio costante di riunirsi al mare. Per tutta la durata della vita, il sangue desidera l’oceano. Solo allo stadio embrionale il sangue galleggia senza peso nella “chiarissima acqua” del ventre materno²¹, un oceano in miniatura.

Come possono i nostri corpi superare il naturale desiderio del sangue e spingerlo, invece, verso l’alto? Elevandolo attraverso il calore, tramite rarefazione, risponde Leonardo. Esattamente questo è lo scopo del meccanismo di sistole e diastole:

La revolutione del sangue nell’antiporto del core basa dell’arteria aorto serve a due effetti de’ quali primo è che essa revolutione moltiplicata per più aspetti fa in se gran confregatione la qual riscalda e assottiglia il sangue e aumenta e vivifica li spiriti vitali li quali sempre si mantengono nel caldo e umido. Il secondo effetto d’essa revolutione di sangue è di riserrare l’aperte porte del core col suo primo moto refresso con perfetta serratura²².

E ancora:

e allora essendo interamente serrate esse tre porte allora le pariete si serrano con tale potentia intorno al rimanente del fugito sangue che li è forza che gran parte di quello si fuga d’esso ventriculo e penetri per li meati del pariete di mezzo e penetri nel sinistro ventriculo il quale assottigliato nella penetratone delli stretti meati si converte in ispiriti vitali lasciando ogni grossezza in esso destro ventriculo la qual grossezza²³,

un discorso senza fiato, e significativamente, anche un discorso bruscamente interrotto. Potrebbe essere questo un buon paragone verbale per le difficoltà di visualizzazione che Leonardo incontrò nella sua tarda ricerca anatomica, in cui l’attenzione è tutta rivolta alla dinamica dei fluidi. Fu proprio a causa di questa convinzione secondo cui il denso fluido sanguigno (prodotto nel fegato, e quindi relativamente freddo) doveva essere rarefatto e di conseguenza scaldato, che Leonardo non abbandonò mai la teoria galenica secondo cui dei minuti pori localizzati nel setto cardiaco separavano i due ventricoli²⁴. Attraverso questi – secondo Leonardo, in-

²¹ KP 200r.

²² KP 115r / W 19116r / Quad. IV 11r. Per un classico passo sulla relazione tra cuore, calore, spirito, sangue e vita organica, cfr. CICERO, *De natura deorum*, II, 23-24.

²³ KP 155v / W 19062v / Quad. I 3v.

²⁴ Sull’argomento cfr. R. ZWIJNENBERG, *Poren im Septum - Leonardo und die Anatomie*, in *Leonardo da Vinci. Natur im Über-*

¹⁶ KEMP 1981, p. 294.

¹⁷ *Ibid.*

¹⁸ *Ivi*, p. 301.

¹⁹ Ms A 60r, *Leonardo da Vinci. I Manoscritti* 1990.

²⁰ Cfr. Ms C 26v, *Leonardo da Vinci. I Manoscritti* 1986.

visibili – pori, il sangue rarefatto sarebbe penetrato nel ventricolo adiacente, in preparazione al lento viaggio attraverso il corpo.

Nonostante Leonardo avesse qualche dubbio su questo modello così meccanicistico (“Intendi se la revolution del latte quando si fa il burro si riscalda e con tal mezo potrai provare la valitudine delli orecchi del core che ricevano e cacciano il sangue delle loro cavernosità e altri meati; esser sol fatti per riscaldare e assottigliare il sangue [...]”, come scrive sul foglio KP 116v), era apparentemente convinto che, alla fine, le turbolenze interne al cuore fornissero la chiave per comprendere la produzione di calore vitale: “e la revolutione che fa il sangue in se medesimo raggirandosi con diverse revertigini e la confregatione che esso fa per le parieti e percussioni in esse cellule son causa di riscaldare esso sangue e farlo di grosso e viscoso sottile e penetrativo e atto a scorrere dal destro al sinistro ventricolo inferiore”²⁵. E ancora: “e così il caldo dà vita a tutte le cose come si vede il caldo della gallina o delle tachine dare vita e nascimento alli pollicini e ’l sole quando ritorna fa fiorire e animare tutti li frutti”²⁶. Questo aspetto è cruciale: se il calore di un organismo è calore innato, se è – in termini aristotelici – una proprietà dell’anima (anche se l’anima discende dal sole, come Leonardo scrive nella *Lalde del sole* del 1508 circa)²⁷, allora non sarebbe più necessario esplorare il meccanismo di produzione del calore in un corpo altrimenti freddo. Se, invece, non ci fosse *caldo infuso*, come ad esempio nelle piante, il cui calore dipende interamente dal sole (come Leonardo scrive nel Ms G, f. 32v), o se il calore dei corpi animali fosse unicamente il risultato di una frizione emodinamica, allora l’anima diventerebbe un concetto obsoleto, e non servirebbe più per spiegare la produzione di calore.

Uno degli effetti di questa “marginalizzazione” dell’anima sarebbe l’assenza di un provvidenziale agente regolatore, un parallelo al progetto galenico, ma senza le infinite *vires* e *facultates* locali²⁸. La vita sarebbe un complicato meccanismo con un forte bisogno di continua auto-regolazione, per evitare ogni eccesso. I processi vitali e le funzioni organiche dovrebbero essere continuamente tenuti in equilibrio, per tutta la durata di vita dell’organismo, e – in fondo – invano.

gang. Beiträge zu Wissenschaft, Kunst und Technik, a cura di F. Fehrenbach, München, 2002, pp. 57-79.

²⁵ KP 156v / W 19063v / Quad. I 4v.

²⁶ KP 116r / W 19119r / Quad. IV 13r.

²⁷ Ms F 5r-4v, *Leonardo da Vinci. I Manoscritti* 1988. Cfr. C. VASOLI, *La “Lalde del sole” di Leonardo da Vinci*, XII Lettura Vinciana (Città di Vinci, Biblioteca Leonardiana, 15 aprile 1972), Firenze, 1973.

²⁸ Cfr. PICHOT 1993, pp. 151, 219-220.

Come conseguenza di questo approccio meccanicistico, Leonardo arriva a ripensare la nozione stessa di vita organica. L’intero organismo non viene più concepito come materia animata dall’anima (o dal calore innato) fino alla morte, ma la vita stessa e le funzioni vitali sono descritte come fragili, delicati equilibri di forze in contrasto, in permanente oscillazione tra vita e morte:

Il corpo di qualunque cosa la qual si nutrica al continuo more e al continuo rinasce perché entrare non può nutrimento se non in quelli lochi dove il passato nutrimento è spirato, e se li è spirato elli più non nutrisce e [da] vita. E se non li rende nutrimento eguale al nutrimento partito, allora la vita manca di sua valitudine e se tu li levi esso nutrimento, la vita in tutto resta distrutta. Ma se tu ne’ rendi tanto quanto se ne distrugge alla giornata, allora tanto rinasce di vita quanto se ne consuma, a similitudine del lume fatto dalla candela col nutrimento datoli dall’omere d’essa candela il quale lume ancora lui al continuo con velocissimo soccorso restaura di sotto quanto di sopra se ne consuma morendo e di splendida luce si converte morendo in tenebroso fumo la qual morte è continua [...] E in istante tutto il lume è morto e tutto rigenerato insieme col moto del nutrimento suo [...] E il medesimo accade nelli corpi delli animali mediante il battimento del core che genera l’onda del sangue per tutte le vene [...] Dico che la carne delli animali è rifatta dal sangue che al continuo si genera del lor nutrimento. E che essa carne si disfa e ritorna per le arterie miseraiche e si rende alle intestine dove si putrefa di putrida e fetente morte, come ci mostran nelle loro espulsioni e caligine come fa il fumo e foco dato per computatione²⁹.

Entrambi i processi di vita e di morte, crescita e decadimento, si sovrappongono continuamente (“il sangue [...] al continuo more e rinasce”³⁰), quasi una tradizione in chiave biologica del pensiero stoico³¹. Ancora più in-

²⁹ KP 50r / W 19045r / Anat. Ms B 28r, *Leonardo da Vinci. I Manoscritti* 1987.

³⁰ KP 69v / W 19027v / Anat. Ms B 10v, *Leonardo da Vinci. I Manoscritti* 1987. Cfr. KP 155v / W 19062v / Quad. I 3v.

³¹ Cfr. SENECA, *Ad Lucilium epistulae morales*, III, XXIV, 20: “Cotidie morimur; cotidie enim demitur aliqua pars vitae, et tunc quoque, cum crescimus, vita decrescit. Infantiam amisimus, deinde pueritiam, deinde adulescentiam. Usque ad hesternum, quidquid transiit temporis, periiit; hunc ipsum, quem agimus, diem cum morte dividimus. Quemadmodum clepsydrum non extremum stillicidium exhaurit, sed quidquid ante defluxit, sic ultima hora, qua esse desinimus, non sola mortem facit, sed sola consummat: tunc ad illam pervenimus, sed diu venimus”. Sulla successiva tradizione del *topos* (FRANCESCO PETRARCA, *De remediis utriusque fortunae*, II, 117; FEDERICO FREZZI, *Il quadrivregio*, II, cap. VI), vedi A. TENENTI, *Il senso della morte e l’amore della vita nel Rinascimento (Francia e Italia)*, Torino, 1989, pp. 42, 46. Giovanni Pico della Mirandola nel trattato metafisico *De ente et*

quietante è osservare che le stesse funzioni vitali sono di per sé potenzialmente distruttive: “e così con tale frusso e refrusso fatto con gran celerità il sangue si riscalda e si assottiglia e fassi di tanta caldezza che se non fussi l’ soccorso dal mantece detto polmone, il quale tira l’aria fresca nel suo dilatarsi e la prieme e tocca le veste delle ramificationi delle vene e le rinfresca esso sangue verrebbe in tanta caldezza che soffocherebbe il core e lo priverebbe di vita”³². E in un foglio vicino: “e questo tal caldo assottiglia il sangue e lo vapora e ne converte in aria e ne convertirebbe in fuoco elementare se il polmone colla freschezza del suo vento non soccorressi a tale eccesso”³³.

Il sistema elaborato da Leonardo prevede anche la possibilità di eccessi potenzialmente fatali. Lo scopo stesso del moto vascolare – fornire nutrimento e calore – implica anche l’ invecchiamento, e – infine – la morte. Le pareti di vene e arterie si irrigidiscono e ingrossano sempre più proprio a causa dei sedimenti portati con sé dal flusso del sangue nei vasi. L’ animazione conduce al progressivo indebolimento della portata del sistema cardiovascolare, e quindi anche a una mancanza progressiva di nutrimento e calore³⁴. Nel tempo, il sangue, sempre più viscoso e saturato, impedisce la completa chiusura della valvola del ventricolo destro; di conseguenza, il processo di rarefazione è impedito, e gli spiriti vitali vengono a mancare, “e per questo alli vecchi mancano tutti gli spiriti e spesso moiano parlando”³⁵. L’ esaurimento finale degli spiriti vitali durante l’ esalazione fornisce un parallelo efficace per il precedente paragone leonardesco sulla continua morte della poesia, o della scrittura³⁶.

La vita è quindi concepita come una continua oscillazione, un processo dialettico tra forze antagonistiche, un fragile equilibrio in grado solo di ritardare il finale

uno (V) propone un altro *dictum* vicino alla nozione di Leonardo: “Vita [...] semper fluens, semper admixta morti, magis denique mors vocanda quam vita” (GIOVANNI PICO DELLA MIRANDOLA, *De ente et uno*, in *Ceuvres philosophiques*, ed. e trad. a cura di O. Boulnois e G. Tognon, Paris, 1993, pp. 74-135).

³² KP 155r / W 19062r / Quad. I 3r.

³³ KP 164r / W 19081r / Quad. II 11r. Cfr. KP 116r / W 19118-19r / Quad. IV 14v-13r. La necessità di raffreddare il cuore attraverso il respiro è già notata da ARISTOTELE, *De partibus animalium*, III, 6, 668b-669a; *De anima*, II, 8, 420b.

³⁴ Cfr. KP 69v / W 19027v / Anat. Ms B 10v, *Leonardo da Vinci. I Manoscritti* 1987.

³⁵ KP 155v / W 19062v / Quad. I 3v.

³⁶ Cfr. *Leonardo da Vinci. Libro di Pittura* 1995, cap. 15 sulla morte dell’ immaginazione poetica: “[...] ma la imaginatione non esce fuori d’ esso senso comune, se non in quanto essa va alla memoria, et li si ferma et li muore [...]”. Cfr. ivi, cap. 9: “Tutte le scientie, che finiscono in parole, hanno sì presto morte, come vita [...]”.

trionfo del processo di raffreddamento³⁷ e sclerosi. Il motore dell’ animazione, il cuore, lavora ritmicamente. Il calore, che rarefa e distribuisce l’ azione del polso è un processo discontinuo, interrotto da pause, momenti di stasi: “Come il frusso e refrusso delli 2 ventriculi superiori colli 2 inferiori son causa di mandare il nutrimento del sangue per le vene a scosse e interrotto”³⁸. Tra le ondate delle pulsazioni il sangue arriva a un arresto, e “l’ impeto che rimane nel sangue” si consuma³⁹.

L’ emodinamica di Leonardo è strettamente legata alla nozione di *impetus*. Nella valvola aortica il flusso di sangue crea “molte altre revolutioni contrarie l’ una l’ altra successivamente l’ una sopra l’ altra sempre ritardando la velocità insin che l’ impeto se stessi consuma”⁴⁰; “Il moto del liquido fatto per qualunque verso tanto procede nella sua principale revolutione quanto vive in lui l’ impeto datoli dal suo primo motore”⁴¹. Il concetto di *impetus* come forza trasmessa da un corpo in movimento a un oggetto immobile si origina nella filosofia naturale della tarda antichità (Johannes Philoponus, VI secolo d.C.) e viene riformulato alla fine del XIII secolo nel contesto dei commenti alle *Sententiae* di Pietro Lombardo⁴². Due francescani, Petrus Johannes Olivi, il capo degli Spirituali, e Franciscus de Marchia, il rettore dello *Studium* dell’ ordine a Parigi, furono i primi a rivivificare l’ uso del termine. In opposizione alla filosofia naturale di ambito aristotelico i due pensatori francescani negarono qualsiasi ruolo decisivo del mezzo (aria, acqua, etc.) che circonda l’ oggetto mosso da una forza. Al contrario, formularono l’ idea di una forza attivamente trasmessa dal motore al proietto; una forza che spinge l’ oggetto mosso anche dopo la perdita di contatto con il motore. Questa forza era chiamata *vis impressa* da Olivi e *vis derelicta*, la forza residua, lasciata nel proietto, da de Marchia. I dibattiti successivi continuarono a discutere se questa forza – denominata *impetus* – diminuisse di per sé, o se invece – in assenza di gravità e frizione – avrebbe con-

³⁷ Sull’ argomento affrontato da Ippocrate, cfr. P. MUDRY, *Medicina, soror philosophiae. Regards sur la littérature et les textes médicaux antiques (1975-2005)*, réunis et édités par B. Maire, Lausanne, 2006, p. 78.

³⁸ KP 159r / W 19066r / Quad. I 7r.

³⁹ KP 115v / W 19116v / Quad. IV 11v.

⁴⁰ KP 115v / W 19117r / Quad. IV 12r.

⁴¹ KP 50r / W 19045r / Anat. Ms B 28r, *Leonardo da Vinci. I Manoscritti* 1987. Il passaggio è immediatamente seguito dalla riflessione sulla continua morte degli organismi viventi.

⁴² Sulla fisica dell’ impeto cfr. A. MAIER, *Metaphysische Hintergründe der spätscholastischen Naturphilosophie*, Roma, 1955; M. WOLFF, *Geschichte der Impetustheorie. Untersuchungen zum Ursprung der klassischen Mechanik*, Frankfurt am Main, 1978; N. SCHNEIDER, *Die Kosmologie des Franciscus de Marchia. Texte, Quellen und Untersuchungen zur Naturphilosophie des 14. Jahrhunderts*, Leiden, 1991.

tinuato ad agire perpetuamente. La teoria dell'impeto fu poi sviluppata da Nicolas Oresme, Jean Buridan e Alberto di Sassonia; al tempo di Leonardo si era ormai affermata come una nozione fondamentale della fisica⁴³.

Seguendo questa tradizione, Leonardo descrive l'impeto come un'entità infusa nei corpi indotti in uno stato di moto accidentale; l'esempio classico è quello di una pietra, gettata in avanti per violenza, da una forza esterna o accidentale. Come un proietto, la pietra segue una traiettoria diversa dalla sua naturale inclinazione, che la porterebbe a cadere perpendicolarmente verso il basso, e quindi verso il centro della terra⁴⁴. Per Leonardo, l'impeto rimane un'entità in transito, che trascende continuamente sé stessa, vivificando l'oggetto tramite il movimento. Nei più importanti testi dedicati alla teoria dell'impeto, Leonardo lo descrive come un'entità dinamica che desidera la propria "disfazione". Nel moto dell'oggetto l'impeto (o la forza, una categoria intimamente collegata) si consuma inesorabilmente, aiutato in questo dalla resistenza dell'elemento circostante, e da una potenza naturale, la forza di gravità. Ad esempio:

Che cosa è forza. Forza dico essere una potenza spirituale incorporea e invisibile, la quale con breve vita si causa in quelli corpi che per accidentale violenza stanno fuori di lor naturale essere e riposo. Spirituale dissi, perché in essa forza è vita attiva; incorporea e invisibile dico, perché il corpo, dove nasce, non cresce in peso nè in forma; di poca vita perché sempre desidera vincere la sua cagion, e, quella vinta, sé occide⁴⁵.

Oppure, in un'affascinante osservazione di un periodo più tardo: "[...] esso impeto fuggatore del corpo dov'è creato si consuma e more insieme col moto d'esso corpo"⁴⁶. Il desiderio dell'impeto di disfarsi, estinguersi e

riposare caratterizza questa entità come liminare, una forza che connette due stati di quiete tramite il moto. Per esaurirsi, la forza deve bruciare le proprie energie tramite il moto, conducendo così il proietto verso uno stato di quiete, che Leonardo concepisce come una forma di "morte" della forza, o di stasi. C'è quindi un'entità vivificante, e al tempo stesso suicida, in atto in ogni oggetto che si muove con moto accidentale, contrario alla propria natura. Vita e morte si sovrappongono persino nell'ambito inanimato della fisica, in oggetti che si muovono contro natura.

Gli effetti della fisica dell'impeto nei tardi studi anatomici di Leonardo sono impressionanti. Se la distribuzione di calore e nutrimento nel corpo dipende da "la revolutione [...] fatta dall'impeto infuso nel sangue della basa dell'arteria [l'Aorta]"⁴⁷, allora la forza trasmessa dal polso "muore" continuamente, esaurendosi continuamente nelle frizioni create dalle turbolenze. L'organismo, per potersi mantenere in vita e produrre quindi nutrimento e calore, innesca continuamente dei moti discontinui e accidentali. Il corpo muore continuamente non solo per il decadimento del vecchio sangue e della carne, ma anche, e più fondamentalmente, per il desiderio suicida dell'impeto. Questo desiderio di morte riposto al centro stesso della vita, nel battito cardiaco, complementa la dialettica di animazione e morte, l'intreccio di entrambi gli stati nel delicato equilibrio dell'organismo.

Vorrei concludere con alcune considerazioni sull'aspetto formale dei fogli anatomici di Leonardo, un campo ancora largamente trascurato negli studi sulle sue ricerche anatomiche. Evidentemente, l'attenzione rivolta all'emodinamica è una conseguenza diretta degli studi idrologici. La rappresentazione del flusso di sangue nel cuore e nei vasi sanguigni sarebbe impensabile senza l'apparato grafico sviluppato da Leonardo attorno al 1508, specialmente l'elaborata resa in figura delle turbolenze dei fluidi.

La quantità di segni convenzionali in questi schizzi è un punto ancora discusso⁴⁸, ma il riferimento al carattere diagrammatico dei disegni leonardeschi di idro-

⁴³ Su Leonardo e l'impeto cfr. P. DUHEM, *Études sur Léonard de Vinci*, 3 voll., Paris, 1906-1913, III, pp. 3-112; G. CASTELFRANCO, *Il concetto di forza in Leonardo da Vinci* (1950), in *Id.*, *Studi vinciani*, Roma, 1966, pp. 18-24; FEHRENBACH 1997, pp. 239-245; F. FROSINI, *Il lessico filosofico di Leonardo in tre stazioni dello "spirito"*, in *I mondi di Leonardo. Arte, scienza, filosofia*, a cura di C. Vecce, Milano, 2003, pp. 65-92.

⁴⁴ Per la tradizione aristotelica cfr. G.A. SEECK, *Die Theorie des Wurfs. Gleichzeitigkeit und kontinuierliche Bewegung*, in *Die Naturphilosophie des Aristoteles*, a cura di G.A. Seeck, Darmstadt, 1975, pp. 384-390.

⁴⁵ Ms B 63r, *Leonardo da Vinci. I Manoscritti* 1987. FROSINI 2003, sottolinea le differenze tra le due nozioni, *impeto* e *forza*, ma con una rara eccezione Leonardo ascrive a entrambe le forme di energia una breve vita e un desiderio di morte. Credo che questo sia un eco dell'idea stoica che movimenti violenti, per esempio vortici d'aria, desiderano il loro stesso esaurimento; cfr. SENECA, *Naturales Quaestiones*, VII, 9, 3.

⁴⁶ Codex Arundel 2r (London, British Museum, circa 1508-

1509): LEONARDO DA VINCI, *Il Codice Arundel 263 nella British Library*, a cura di C. Pedretti, trascrizione e note critiche di C. Vecce, Firenze, 1998.

⁴⁷ KP 115v / W 19117v / Quad. IV 12r. Naturalmente questo non include la quantità di sangue prodotto e direttamente distribuito nell'organismo dal fegato; cfr. KEELE 1952, pp. 115-116.

⁴⁸ Cfr. il classico contributo di E.H. GOMBRICH, *The form of movement in water and air*, in *Leonardo's legacy*, a cura di C.D. O'Malley, Berkeley, 1969, pp. 171-204 e recentemente F. FEHRENBACH, *Leonardo e l'acqua. La sfida della rappresentazione*, in *Leonardo da Vinci. Il disegno del mondo*, a cura di P.C. Marani e M.T. Fiorio, catalogo delle mostre (Milano, Palazzo Reale, 15 aprile-19 luglio 2015), Milano, 2015, pp. 369-375.

dinamica non spiega la loro stupefacente concretezza. Per Leonardo, le linee di questi infiniti studi di vortici contraddistinguono un flusso sia materiale – rappresentato dall'astrazione del segno, come nelle astratte linee di forza dei muscoli – sia i diversi fasci che distinguono le diverse componenti di un fluido in movimento. In entrambi i casi, questi segni grafici, caratterizzati da un impatto visivo forte e diretto, non rappresentano dei corpi materiali e statici, ma visualizzano invece i contorni di quantità liquide in moto, o le componenti separate di uno stesso fluido. Sono segni che quindi illustrano *ad oculos* la dinamica degli agenti deviata da altri materiali.

Nella loro corsiva e non rifinita esecuzione i tardi studi emodinamici di Leonardo rivelano una mancanza di interesse per le ragioni dell'armonia formale, dell'ordine geometrico e della composizione conchiusa. Al contrario, rappresentano dei passaggi in una più ampia continuità di flussi. Invece di concentrarsi sulla composizione di corpi, organi, e arti, questi disegni funzionali visualizzano la struttura dell'organismo come una costellazione di elementi in conflitto: transitori, instabili e fuggitivi. Nei loro segni astratti, e nella loro spesso straordinaria dinamica spaziale, gli schizzi di Leonardo mettono in moto gli occhi e la mente dell'osservatore. Lo spettatore incontra qui l'equivalente figurativo della dinamica della propria, temporanea, esistenza organica.

In queste tarde rappresentazioni di emodinamica, Leonardo è il primo studioso di anatomia in grado di superare l'opposizione tra la morfologia visibile del corpo e la descrizione dei suoi processi fisiologici⁴⁹, visualizzando la dinamica dei fluidi in movimento senza l'ingombrante presenza dei vasi sanguigni e del cuore. Così facendo Leonardo sviluppa la propria versione di medicina umorale, una tradizione che aveva dominato la storia della disciplina a partire dagli scritti di Ippocrate – un potente paradigma, che inibì la rappresentazione viva all'interno dei codici tradizionali⁵⁰. Per Leonardo la dinamica dell'organismo si basa sul movimento di liquidi impossibili da osservare direttamente e descrivere adeguatamente in parole. Al tempo stesso, queste rappresentazioni dell'organismo come un trasparente vaso di fluidi non solo riescono a mettere

⁴⁹ Questa dominante attenzione sulla morfologia nel XVI secolo era criticata dal medico di Michelangelo, Realdo Colombo, nel 1559. È significativo che faccia riferimento alla vivisezione in un passo dedicato all'analisi del movimento cardiovascolare (cfr. R. FRENCH, *Dissection and vivisection in the European Renaissance*, Aldershot, 1999, pp. 207-209). Per il contesto generale vedi J. SAWDAY, *The body emblazoned. Dissection and human body in Renaissance culture*, London-New York, 1995; CUNNINGHAM 1997.

⁵⁰ Cfr. CARLINO 1999, pp. 122-123; H. BOBER, *The zodiacal miniatures of the "Très Riches Heures" of the Duke of Berry. Its sources and meaning*, in "Journal of the Warburg and Courtauld Institutes", vol. 11, 1948, pp. 1-34.

in immagini qualcosa di invisibile, ma sfidano i limiti stessi del mezzo grafico.

Quello che tiene in vita il corpo sono fluidi in movimento, nascosti sotto la pelle, incarnati nella carne, in flusso dietro le pareti vascolari. La pelle, la carne e i vasi sanguigni devono diventare trasparenti per poter mostrare la materia liquida che rende possibile la vita. Nei suoi complicati movimenti, immerso nel medium sanguigno, un impulso dinamico, l'impeto, si consuma ritmicamente. L'occhio dell'osservatore è quindi di importanza cruciale: è l'occhio a leggere la rappresentazione statica del foglio come movimenti della mano che disegna. Leonardo deve aver compreso che, nel caso nell'emodinamica, una continuità materiale e biologica lega il processo di rappresentazione al suo referente. La mano del disegnatore è tenuta in vita dalla stessa turbolenza di sangue che sta rappresentando in figura, con penna e inchiostro, sul foglio di carta. Quando tocca la carta, l'inchiostro è ancora fluido come la materia che imita. Come in un *time-lapse*, il processo di asciugatura dell'inchiostro offre un'analogia materiale al processo di invecchiamento dell'organismo, o, più precisamente, all'appassire e sclerotizzare delle vene. Ricordo statico del movimento della mano dell'artefice, questi schizzi sono in attesa del momento in cui possono tornare a essere "liquefatti" dall'occhio, di per sé parte vivente di un organismo che dipende dal nutrimento e dal calore fornito dal moto vascolare.

Non solo: come condizione necessaria alla percezione viva, gli *humores* che formano i diversi strati e sfere dell'occhio vengono concepiti da Leonardo come i fluidi più perfetti e trasparenti del corpo umano. Nei tardi studi emodinamici e cardiovascolari Leonardo offre l'invisibile dinamica della vita alla visione di un organo di completa trasparenza. I liquidi in moto nell'organismo sono messi in figura a servizio dell'occhio, che in cambio è "att[o] a dare transitio alli simulacra"⁵¹, ovvero le immagini trasmesse dai corpi attraverso il medium trasparente (aria o acqua), che arrivano così a smuovere i sottili flussi di spirito del cervello. Con l'opposizione del foglio KP 175 (W 19088 / Quad. II 18) tra le turbolenze del sangue (*recto*) e due diagrammi di rifrazione della luce (*verso*), Leonardo rafforza il nesso tra emodinamica e ottica.

Leonardo mirava a formulare delle strategie visive in grado di comunicare e rafforzare il moto e le dinamiche vascolari. Tre piccoli schizzi aggiunti sul margine inferiore sinistro del foglio KP 115r (W 19116-7r / Quad. IV 12-11r), per esempio, illustrano il meccanismo della valvola tricuspide localizzata nella camera destra del cuore. Nella loro sequenza, questi disegni vi-

⁵¹ Ms. F 34r, *Leonardo da Vinci. I Manoscritti* 1988.

sualizzano la dinamica del processo: il primo dimostra diagrammaticamente la geometria dell'organo a riposo, visto dall'alto, come in una planimetria. Il secondo invece rappresenta, in elevazione, il triplo vortice che ritmicamente spinge la valvola cardiaca a chiudersi. Solo il terzo disegno comunica l'estensione spaziale e al tempo stesso la dinamica dell'evento rappresentato tramite l'aggiunta di un vortice centrale, che irrompe verso l'osservatore come una cateratta.

Il foglio KP 116r (W 19118-19r / Quad. IV 14v-13r) rovescia questa dinamica spaziale. Lo spettatore non è più esposto all'impatto del flusso sanguigno. Al contrario, l'occhio è invitato nelle profondità della camera vuota del cuore come in un abisso oscuro. L'ampio spazio vuoto si presenta diagonalmente sul foglio, spingendolo a lato il testo. Lo sguardo dello spettatore sostituisce il mulinello di sangue che normalmente riempirebbe completamente lo spazio della camera cardiaca⁵².

Gli studi cardiovascolari di Leonardo su carta azzurra (KP 162-183) espandono ulteriormente le possibilità grafiche della rappresentazione del moto vascolare. Il colore è, naturalmente, quello degli elementi liquidi, aria e acqua; qui è usato per creare la suggestione di profondità in cui la pulsante massa del cuore e la turbolenza del sangue sembrano galleggiare. Sul foglio KP 162r (W 19071r / Quad. II 1r) Leonardo contrappone invece un voluminoso cuore che sembra emergere dal centro del foglio, da cui si dirama una cascata di vene sempre più sottili, visivamente assimilabili alla scrittura grazie alla loro linearità e delicatezza. Il contrasto tra l'ampio volume del cuore e le linee che da questo precipitano verso il basso evoca le pulsazioni cardiache e il flusso sanguigno che, invisibile, si fa strada nelle diramazioni delle vene (si veda anche KP 163 / W 19072v / Quad. II 2v).

Il rifiuto di ogni eleganza lineare in questi disegni di epoca tarda è stato già notato da diversi studiosi. La loro asprezza è direttamente legata alla dinamica e alla potenza, l'inevitabilità e il pericolo, dei flussi vitali. Una sequenza di dettagli di valvole cardiache come quella del foglio KP 165v (W 19078v / Quad. II 8v) ha una qualità pulsante, che afferma con forza la propria priorità rispetto al testo aggiunto sulla carta in uno stadio suc-

cessivo. Il progressivo aumento di dimensioni nella serie di cuori sul foglio KP 166v (W 19073-4v / Quad. II 3v-4r), da destra verso sinistra, suggerisce la diastola dell'organo come una forza espansiva, in grado di creare volume, come se l'organo fosse in grado di risaltare dalla superficie del foglio. In maniera analoga, nella serie di valvole chiuse e aperte sul foglio KP 169v (W 19079v / Quad. II 9v), viste dall'alto e dal basso, lo sguardo dello spettatore contribuisce a creare un movimento ritmico e pulsante, del tutto simile a quello che lo tiene materialmente in vita, mentre osserva i disegni di Leonardo.

La sequenza di alcuni fogli termina con un tratto ancora più dinamico, ovvero la rappresentazione di turbolenze emodinamiche; come nel foglio KP 171r (W 19082r / Quad. II 12r), in cui la rappresentazione si sposta da statici vasi sanguigni all'auto-regolante moto vascolare. Su questo foglio Leonardo disegna prima il modello in vetro della "porta del core", un recipiente artificiale e trasparente in cui si possono osservare le turbolenze dei fluidi. Invece di vortici di linee, è il testo a riempire il recipiente. Dell'altro testo segue, al centro, per descrivere il ritmico movimento di chiusura, perfettamente autonomo, delle valvole. Leonardo analizza poi in una vista a sezione la geometria dell'organo, per terminare con la rappresentazione di due potenti vortici, che ricadono simmetrici tra i muri vascolari. La serie culmina nel foglio KP 172v (W 19083v / Quad. II 12r), la più elaborata rappresentazione del flusso sanguigno nelle valvole cardiache. Qui Leonardo analizza le turbolenze per fasci individuali, prima di condensarli nuovamente insieme in un agglomerato compatto. Questo foglio è notevole per l'indissolubile intreccio di testo e immagine, ma è forse ancora più significativo che Leonardo scelga di non rappresentare gran parte di questi flussi all'interno dei vasi sanguigni, e li disegni invece come entità autonome che galleggiano sulla carta azzurra. Gli attori assoluti sono qui dei vortici simmetrici di sangue, senza nessun recipiente che li contenga. I loro complicati ritmi sono realizzati solo nello sguardo prolungato dell'osservatore, il cui organismo, vivo e pulsante, viaggia nel frattempo lentamente ma inesorabilmente verso la propria morte.

⁵² Cfr. la monumentale prospettiva centrale del "tempio" dell'architettura delle camere cardiache in KP 170r / W 19080r / Quad. II 10r. Entrambi i disegni prefigurano l'allargamento dei vasi sanguigni in GIROLAMO FABRICI, *De venarum ostioliis*,

Padova, Lorenzo Pasquato, 1603; cfr. K.B. ROBERTS, J.D.W. TOMLINSON, *The fabric of the body. European traditions of anatomical illustrations*, Oxford, 1992, tav. 60.

This anatomical drawing, titled 'Studi sul cuore e sulle vene', depicts the human heart and lungs in a detailed, three-quarter view. The heart is centrally located, showing its four chambers and the network of arteries and veins. The lungs are shown on either side, with their characteristic spongy texture and branching bronchial structures. The drawing is executed in fine lines, capturing the complex anatomy of the thoracic cavity. Surrounding the central illustration are numerous handwritten notes in Italian, written in a cursive script. These notes provide detailed descriptions and observations of the anatomical features shown. The page is numbered '18r' in the top right corner. A small number '4' is visible in the bottom right corner of the page.

4. Leonardo da Vinci, *Studi sul cuore e sulle vene*, KP 162r, ca. 1513. Penna e inchiostro seppia su carta blu, 288 x 203 mm. Windsor Castle, Royal Library, 19071r (Royal Collection Trust/© Her Majesty Queen Elizabeth II 2016).



5. Leonardo da Vinci, *Studi sulle valvole del cuore*, KP 165v, ca. 1513. Penna e inchiostro seppia su carta blu, 284 x 209 mm. Windsor Castle, Royal Library, 19078v (Royal Collection Trust/© Her Majesty Queen Elizabeth II 2016).

6. Leonardo da Vinci, *Studi sul cuore*, KP 166v, ca. 1513. Penna e inchiostro seppia su carta blu, 288 x 413 mm. Windsor Castle, Royal Library, 19073v-4v (Royal Collection Trust/© Her Majesty Queen Elizabeth II 2016). ||

7. Leonardo da Vinci, *Studi sul flusso emodinamico*, KP 171r, ca. 1513. Penna e inchiostro seppia su carta blu, 283 x 204 mm. Windsor Castle, Royal Library, 19082r (Royal Collection Trust/© Her Majesty Queen Elizabeth II 2016). ||

8. Leonardo da Vinci, *Studi sul flusso emodinamico*, KP 172v, ca. 1513. Penna e inchiostro seppia su carta blu, 283 x 204 mm. Windsor Castle, Royal Library, 19083v (Royal Collection Trust/© Her Majesty Queen Elizabeth II 2016).

