

## **Giovanni Alfonso Borelli, 1680: meccanica, movimento, vita.**

di Luigi Tesio

Se potessimo scegliere soltanto un sinonimo tra i molti possibili per indicare il complesso fenomeno definito vita, forse tutti sceglieremmo la parola movimento. E così fece Giovanni Alfonso Borelli, eclettico scienziato del tardo '600, rivendicato fra i propri antesignani da ingegneria, fisica, fisiologia. Io dico che può rivendicarlo anche la Fisiatria.

“De Motu Animalium” è il titolo del suo ponderoso trattato. Di che cosa parla il suo autore? “Io affronto la difficile fisiologia dei movimenti negli animali”. Attenti alle traduzioni, però: non so se un

glottologo confermerebbe la mia ipotesi, ma dalla lettura dell'opera traspare che “animale” ha il vasto significato di “essere animato”, “essere vivente”, e non un ristretto significato zoologico.

E attenti anche alla parola “movimento”. Il trattato non parla soltanto di biomeccanica e di fisiologia muscolare. Si affrontano temi come il metabolismo energetico e la diuresi, la fisiologia della riproduzione e del fegato, la febbre, il dolore, l'epilessia. E si discute di anatomia animale comparata e di fisiologia delle piante. Il titolo è improprio, dunque?

Non per l'autore perché per lui, come vedremo, i fenomeni vitali sono tutti in qualche modo riconducibili a movimento, e quindi al dominio della meccanica.

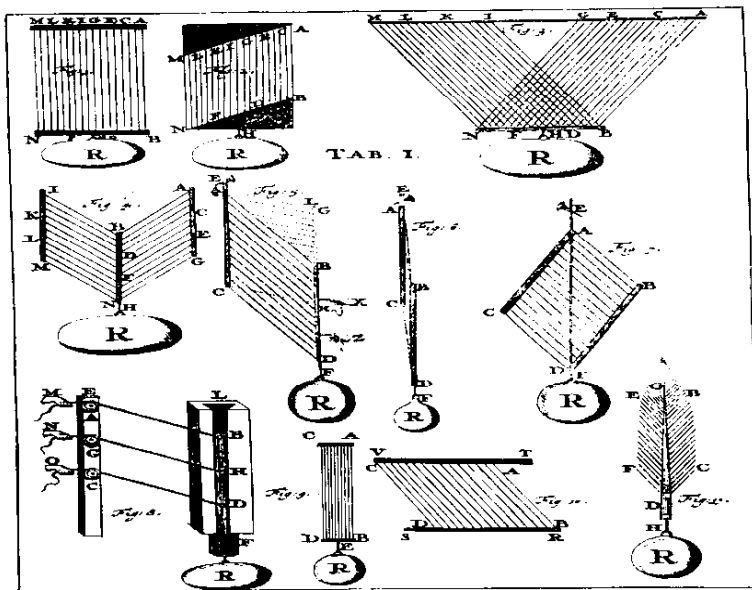
Borelli partecipa in realtà allo sforzo grandioso - proprio del suo secolo - di delimitare il campo dei

fenomeni fisici, esplorabili quindi con l'osservazione e la sperimentazione, dal campo della filosofia, dell'etica, della religione, ed anche della pura speculazione matematica.

“...il principio e la causa efficiente del movimento degli animali è l'anima”.... “Molti movimenti dell'animale derivano da scelta e naturale tendenza”.. Però: “E' anche evidente che idee e volontà di per sé sono incapaci di muovere le parti di un animale, ma richiedono i necessari strumenti senza cui i movimenti non possono essere compiuti”.

### **PENSIERO E MOVIMENTO**

“L'organo attraverso cui la capacità motoria dell'anima muove le parti dell'animale, secondo Aristotele, sono gli spiriti che fluiscono dal cuore attraverso le arterie fino alle terminazioni nervose...”. Ma Aristotele si sbaglia (e ci voleva un bel fegato per dichiararlo a



quei tempi!): ha ragione Galeno. "...i muscoli sono strumenti e macchine attraverso cui la capacità motrice dell'anima muove gli arti e le parti dell'animale".

"Immediatamente dopo la divisione o la legatura del nervo che termina in un muscolo, ogni movimento di questo muscolo si arresta ...." Ma che cosa è realmente trasmesso al muscolo dai nervi? E' una proprietà immateriale o un gas o un qualche liquido?". "I nervi trasmettono l'ordine da parte della capacità motoria dell'anima". Ma non vi scorre qualche cosa di immateriale: si tratta di un qualche "umore fluido alcolico", "generato dal sangue nel cervello e diffuso dai nervi". E' l'esperienza che decide, non la teoria. Se si trattasse di qualche cosa di immateriale, "la stretta legatura del nervo non potrebbe impedire il passaggio di capacità sensitiva o motoria..".

Dunque, il movimento è sì vita, e riflette dunque un "anima" immateriale, ma non per questo deve essere sottratto allo studio osservativo e sperimentale. "Idee e volontà" forse non sono pane per i denti dello sperimentatore. Ma dal cervello in giù il movimento è esplorabile come è esplorabile il

resto della natura. Galileo aveva osato studiare il movimento degli astri con l'osservazione scientifica. Borelli osa studiare il movimento "animale", che viene anch'esso rivendicato "en bloc" al dominio della scienza moderna. La quale, non va dimenticato, nasce proprio nel 1600: il secolo di Galileo, Newton, Malpighi, Boyle, Cartesio...

Borelli campava insegnando matematica, ma si occupava di anatomia macro- e microscopica, geologia, ingegneria, medicina: a quel tempo "fisica" voleva ancora dire "scienze naturali", e la specializzazione che caratterizza il sapere contemporaneo era ancora di là da venire. Ma rispetto al sapere rinascimentale, ancora magico-alchemico, si andava delineando il metodo sperimentale. E con esso, l'osservazione e la sperimentazione sulla realtà, come noi le conosciamo. Naceva insomma lo studio della "realtà obiettiva", e con essa la divisione - come diremmo noi oggi - fra "soft" e "social" sciences da un lato (filosofia e psicologia, per esempio), e "hard" sciences dall'altro (chimica e fisica, per esempio). Se la divisione sia stata o no la scelta più felice è argomento per storici e filosofi. A me preme qui sottoli-

neare come Borelli si dimostri anche più audace dei suoi pur audaci contemporanei. Il movimento dell'"animale", in fondo, potrebbe apparire come un fenomeno "soft": che cosa resta di un gesto dopo che è stato compiuto? Soltanto l'anatomia degli organi che si sono mossi. Borelli, invece, tira nel campo delle scienze "hard" anche il movimento in quanto tale. Egli è affascinato dalla funzione motoria, molto più che dagli organi motori: e nello stesso tempo, rifugge da tecniche di studio e interpretazioni spirituali-vitalistiche. Egli cerca di estrarre da anatomia e matematica le regole di funzionamento del sistema motore. Forse, se nascesse oggi Borelli farebbe il fisiologo e non l'anatomico. Se fosse medico, farebbe forse il fisiatra e non l'ortopedico né il neurologo.

#### MECCANICA SENZA CHIMICA.

A quel tempo, l'anatomia macro e microscopica aveva raggiunto vertici notevoli. Lo stesso vale per la matematica. Pur dopo il grande Galileo, la fisica classica moderna mancava ancora, per giungere a maturazione, del contributo decisivo di Newton, i cui principi sarebbero stati enunciati pochi anni dopo la morte di Borelli, nel 1687. La chimica, invece, segnava il passo. Sarà il '700 il suo grande secolo, quello di Lavoisier, per citare un solo nome. Dunque, anatomia, matematica e una fisica adolescente sono gli strumenti principali con cui Borelli può studiare il movimento. Borelli ha intuizioni straordinariamente precoci. Intanto egli vede nello spostamento dell'"animale" "in toto" il fine principale delle attività motorie segmentarie: questo movimento va studiato di per sé. Borelli si pone il problema di come si muova - durante il cammino - il baricentro del sistema corporeo, che "descrive una serpentina fra due linee parallele". Intuisce che il movimento locomotorio è dominato da criteri di economia muscolare: "durante

il cammino i muscoli si riposano ripetutamente". Egli si chiede (alla fine del '600!) perché "camminare in discesa sia più faticoso che camminare su un piano orizzontale". E trova la risposta: "...i muscoli estensori cedono gradualmente... camminare in piano non richiede questo sostegno perché esso è fornito dalla forza di colonne ossee...". Borelli ha scoperto lavoro positivo e lavoro negativo del muscolo.

Quindi, egli affronta il problema della meccanica articolare. Egli riconosce nitidamente che la forza muscolare si esercita attraverso bracci di leva ossei, e attraverso angoli di inserzione variabili. Egli predice acutamente che la forza esercitata dai muscoli di regola è molto superiore alla forza "apparente" esercitata attraverso i capi ossei, poiché i muscoli agiscono su leve di terzo tipo, che amplificano gli spostamenti ma de-amplificano le forze. Gran parte della moderna cinesiologia è già contenuta nelle eleganti tavole di Borelli.

Scendiamo poi a livello del muscolo isolato: Borelli descrive la dipendenza della forza muscolare dalla lunghezza del muscolo e dalla sua velocità di accorciamento; distingue fra elementi contrattili ed elementi elastici passivi (oggi diremmo fra elementi in serie e in parallelo); descrive il ruolo della "forma" del muscolo: a lui è chiaro che la pennatura ha lo scopo di aumentare la sezione fisiologica del muscolo, dandogli più forza di quanto lo spessore lascerebbe immaginare. E scendiamo ancora più in giù: Borelli non solo descrive le fibre muscolari ("più sottili di un capello femminile"), ma intuisce l'esistenza del sarcomero. "Ogni fibra muscolare è simile ad una catena fatta di molti rombi che si possono contrarre come fanno le molle"... Ogni fibra muscolare è simile ad una catena di piccole macchine". La "...contrazione deve risultare non dalla immobilità degli elementi muscolari ma dal loro muoversi

l'uno vicino all'altro". Per un soffio, non dobbiamo proprio a Borelli la teoria dello scivolamento dei filamenti, enunciata 3 secoli dopo: per Borelli "i muscoli non si contraggono condensando la lunghezza delle loro fibre.... l'irrigidimento deriva da edema".

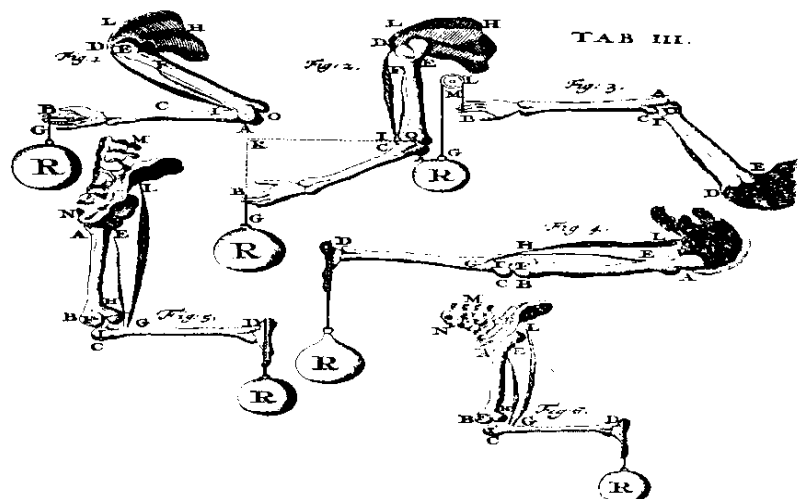
Proviamo per un attimo ad immaginare lo sgomento di un uomo del seicento dinnanzi alla contrazione muscolare, che a noi sembra un fenomeno così ovvio: la carne, quanto di più inerte e-se vogliamo-cadaverico si possa immaginare, si muove da sola! A quel tempo dominavano due tipi di interpretazioni: quella "spiritualistica/vitalistica" aristotelica, sopra ricordata, e quella che definirei "materialistica", sostenuta da Borelli. La contrazione altro non sarebbe che un edema che gonfia, irrigidisce e in ultima analisi fa accorciare il muscolo.

Si tratta di uno dei moltissimi errori che (con il senno di poi!) è facile rinvenire nel trattato. Per esempio, in più parti si fa confusione fra concetti di forza, lavoro, potenza, momento, "impetus" (il nostro "impulso"?). Borelli commette l'errore grossolano di ritenere che due forze applicate ai capi di una fune comportino una trazione -all'interno della fune-

pari alla somma delle due forze: il principio Newtoniano di uguaglianza fra azione e reazione era alle porte, ma non ancora pubblicato.

## GLI ERRORI: LA MECCANICA NON E' TUTTO

Gli errori più grossi, tuttavia, compaiono nella parte dell'opera, dedicata ai movimenti "interni". Già il fatto che questa parte esista rivela una incredibile intuizione, che ritroveremo nella fisiologia contemporanea: quella di affrontare con metodi meccanico-matematici non soltanto i movimenti "esterni", ma anche quelli "interni". Circolazione e respirazione dipendono strettamente dall'attività muscolare, e forniscono un supporto indispensabile ai movimenti "esterni", vera manifestazione della vita dell'individuo. Ed ecco che Borelli analizza senza remore la meccanica di un organo cui si attribuivano ruoli fantasiosi e significati emotivi: il cuore. Egli sfata (con il più ingenuo e inattaccabile degli esperimenti) il mito secondo cui il cuore sarebbe una piccola caldaia che mantiene il calore del corpo (la ventilazione, per converso, non servirebbe ad altro che a impedirne il surriscaldamento). "Dopo avere inciso il cuore di un animale vivo e introdotto un dito...non abbiamo trovato un calore bruciante ma un te-





pore moderato come quello degli altri visceri dello stesso animale". Meccanica è anche la ventilazione: "aria e polmoni non sono le cause reali della respirazione. Essi sono coinvolti soltanto passivamente nel processo". Borelli contrasta la credenza che "la principale funzione della respirazione sia muovere il sangue e quindi mantenere la vita", consentendo la circolazione dal ventricolo destro al sinistro. Egli intuisce che "l'introduzione di aria e il suo mescolarsi con il sangue attraverso la respirazione produce e mantiene la vita negli animali". Da qui l'ipotesi di sopravvivenza subacquea attraverso riserve d'aria, e addirittura un progetto di nave sottomarina!

### L'INTEGRALISMO MECCANICO: UNA FISIOLOGIA SENZA CHIMICA

Pochi sono gli errori meccanici di Borelli, moltissimi, quelli che definirei "chimici". La contrazione cardiaca e la gittata pulsatoria dipenderebbero non dallo scorrimento reciproco ma solo dall'edema delle fibre muscolari. Quando i polmoni sono inondati da acqua il soffocamento non avverrebbe solo per mancanza di ricambio d'aria, ma per compressione dei vasi bronchiali con conseguente arresto della circolazione. I reni "purificano" il sangue da un eccesso di "siero": eppure, "non contribuiscono direttamente alla vita dell'animale" "come fanno cuore e polmoni che producono e mantengono il movimento vitale

del sangue". Borelli intuisce che i nervi comandano la contrazione muscolare iniettando nel muscolo una sorta di "succo nervoso" (come dargli torto, se solo aggiorniamo la sua terminologia?). Ma egli invoca poi una "forza vibratoria" che produca questo passaggio. Egli intuisce che il lavoro muscolare deriva dalla trasformazione di energia chimica. Ma ritiene che "questa ebollizione e fermentazione non sia diversa dalla comune fermentazione". In sostanza, Borelli vede l'accoppiamento eccitazione-contrazione come una sorta di ebollizione esplosiva del sangue contenuto nei muscoli. "Tutta la sostanza muscolare è rigonfiata dall'edema e dalla esplosione di innumerevoli scoppiettanti vescicole sparse per tutta la massa muscolare.."

A proposito del fegato: "la bile può essere separata dal sangue nel fegato meccanicamente, senza l'aiuto di alcun fermento". Oppure, a proposito dei testicoli: "la sostanza dei testicoli e la loro struttura organica sono in qualche modo simili a quelli del cervello". Borelli è tratto in inganno dalla struttura microscopica fascicolare-filamentosa dei tubuli seminiferi, che appariva analoga a quella della sostanza bianca emisferica.

Gli errori hanno tutti una stessa causa: il tentativo di spiegazione anatomico-meccanica di fenomeni che sono spiegabili su base biochimica o istochimica. Ma la

chimica (inclusi i suoi contributi alla microscopia) doveva ancora uscire dall'alchimia.

Borelli è abilissimo nel crearsi modelli compatibili con le conoscenze del tempo. Ma un modello non esclude mai, di per sé, che ve ne possa essere uno più valido. E se si sbagliava lui perché non aveva la chimica, potremmo sbagliarci anche noi quando costruiamo modelli basati sul mondo della chimica, senza nemmeno immaginare i mondi che verranno.

Talvolta ha più successo la modestia della pura speculazione, che non la presunzione di modelli sperimentali destinati a rivelarsi parziali. Borelli non si sbaglia dove si lascia guidare dalla logica pura. Egli deduce la necessità di localizzazione corticale delle funzioni cerebrali, l'esistenza di vie distinte per la conduzione nervosa motoria e sensitiva (anche se riterrà più probabile una conduzione "alterna", rispetto all'esistenza di vie nervose distinte); egli ipotizza anche l'esistenza di un "succo nutritivo" nervoso (fattori neurotrofici, diremmo noi?) distinto dal "succo" che innesca la contrazione muscolare. Ma fermiamoci qui: il testo contiene mille e mille altri spunti di riflessione profetica sui più vari aspetti della medicina.

Se Borelli era dunque un fisiologo generale, più che un biomeccanico, perché rivendicarlo all'albero genealogico della fisiatria?.

### MOVIMENTO, MEDICINA INTERNA, MEDICINA ESTERNA

Io risponderei: per l'approccio generale, olistico al tema del movimento, decisamente premonitore del modo di pensare del riabilitatore. Borelli è olistico per due motivi. Innanzi tutto, il movimento muscolare è visto come debitore verso le funzioni metabolico-viscerali, con le quali condivide aspetti metabolici (ad esempio, la dipendenza da circolazione e respirazione). Nel contempo l'attivi-

tà muscolare (cardiaca, respiratoria o somatica -come minimo per procurarsi il cibo) è vista come indispensabile alla salute viscerale. Il che è verissimo, anche se Borelli arriverà alla visione estremistica di considerare soltanto meccaniche anche funzioni -come quelle renali od epatiche- che sono principalmente chimiche. La medicina contemporanea è forse "estremista" in senso opposto. Essa è soprattutto medicina "interna", fortemente improntata ad un modello culturale "chimico": farmaci, genetica molecolare, immunologia.... Esiste una medicina "esterna"? Una medicina del rapporto dell'organismo in toto con la "physis", la natura o ambiente che dir si voglia? Questa medicina, "esterna" o "fisica" che dir si voglia attualmente è in penombra. Ne troviamo le tracce nella medicina termale, sportiva e del lavoro, e soprattutto nella medicina riabilitativa. Quest'ultima è forse quella che più cerca di riequilibrare una difficile partita, dedicando particolare attenzione alle funzioni motorie lese ed alla loro terapia con l'esercizio motorio. In questo la riabilitazione si guarda bene dal divenire una medicina "alternativa": anzi, approfitta a man bassa

delle conquiste della medicina "chimica" ogni qual volta sia possibile.

Secondo aspetto olistico: da parte di Borelli il movimento non solo è visto nel contesto della fisiologia generale dell'organismo, ma è anche affrontato in modo olistico di per sé. Borelli compie agili "zoomate" dal sarcomero al muscolo, al cammino, al nuoto, al volo; dai meccanismi neuro-coordinativi alla dinamica articolare. Egli inventa la cinesiologia, originale sintesi di meccanica razionale, anatomia, e fisiologia muscolare. E infine, inserisce il lavoro muscolare nel contesto più generale dei meccanismi energetici: i suoi concetti di ebollizione e fermentazione muscolari sono poi così lontani dai nostri modelli di metabolismo muscolari?

#### **MENTE E CORPO, FUNZIONE E ORGANI, DIVISIONE E SINTESI**

Borelli non prova nemmeno a risolvere ciò che noi chiameremmo il problema mente-corpo: anche se, per la verità, c'è da chiedersi se esso sia davvero risolvibile per via scientifica. Nel porre un dualismo fra "idee e volontà" da un lato e mondo fisico dall'altro,

Borelli apre una strada "laica" allo studio del movimento. Ma una volta avviato, il processo di divisione porterà alla visione "d'organo" delle funzioni motorie: neurologia e meccanica contrapposte. Nei secoli successivi (ma direi soprattutto nel nostro) Scienze Psicologiche, Neurologiche e Ortopediche si divideranno i rispettivi campi di influenza, a scapito dello sviluppo unitario di una Clinica delle Funzioni Motorie.

Ma non si può dar colpa a un tronco per la dispersione dei suoi rami: che ormai, tutti insieme, sono molto più spessi del tronco originario. Borelli viveva in un'epoca in cui gran parte del sapere poteva ancora stare in un uomo solo. La soluzione odierna non è certo uno scienziato universale anche del movimento. Ma forse possiamo innestare sul tronco, molto a monte dei molti rami attuali, un nuovo ramo. Del sapere -ormai obsoleto- di Borelli possiamo forse riprendere l'eclettismo, e tentare di far crescere una medicina motoria: in cui mondo chimico e mondo meccanico, medicina interna e medicina esterna possano convivere, e convivendo dare frutti originali e utili.

Questo articolo è tratto dalla lettura del volume "On The Movement of Animals", edito da Springer-Verlag, Berlino, 1989 (pp. XII+469). Si tratta della traduzione inglese, a cura di Paul Maquet, di una edizione in Latino del 1743. Temiamo quindi che nelle traduzioni qualche cosa del significato originario dei termini sia andato perduto: d'altronde, ci vorrebbe forse un trattato intero soltanto per comprendere che cosa potessero significare realmente "anima", "impeto", "spirito alcolico" per uno scienziato napoletano del 1600. Dalla prefazione del libro apprendiamo che Borelli nacque nel vice-reame spagnolo di Napoli nel 1608. Il padre era un soldato spagnolo, la madre era napoletana. Egli ebbe fra i suoi compagni di studio Torricelli; conobbe Galileo; lavorò con Malpighi, che lo citerà poi con deferenza. Insegnò matematica a Messina e a Pisa. Fu promotore dell'Accademia del Cimento, forse la prima società scientifica nel senso contemporaneo, istituita dal principe Leopoldo di Toscana. Ormai anziano, aderì all'Accademia reale fondata a Roma dalla regina Cristina di Svezia. E a Roma morì, insegnante di matematica e povero, il 31 Dicembre 1679. Il suo "De Motu Animalium" doveva essere la tesi di ammissione all'Académie Royale des Sciences, fondata in Francia da re Luigi XIV. Ma egli non si fidò mai di spedirne l'unico manoscritto: che fu così pubblicato l'anno dopo la sua morte dalla regina Cristina. Lo stile dell'opera è straordinariamente moderno. Si tratta di 224 "proposizioni", che sono talora enunciazioni matematiche, talora brevi descrizioni sperimentali, talora brevi argomentazioni pro o contro qualche teoria dell'epoca. Oggi noi le definiremmo "abstracts" o al massimo "short communications": comunque, resterà deluso chi vi cercherà lo stereotipo della prosa barocca ampollosa. Del tutto moderno è anche il puntuale riferimento nel testo alle magnifiche figure. Ne abbiamo riprodotte alcune, grazie alla cortesia dell'editore Springer.