

A proposito delle attuali conoscenze sui meccanismi basilari della percezione

L'intervento di Benedetti in WP 143 a me sembra per molti aspetti fuorviante. Come sempre in questi casi, ritengo che la cosa migliore sia mettere per iscritto le proprie considerazioni e partecipare al dibattito che ne può seguire.

I punti che non mi convincono hanno a che vedere con un approccio ai rapporti tra mondo mentale e fisiologia che ho portato avanti in interventi su Methodologia e sui Quaderni. Per non appesantire oltre misura un intervento sui WP, che è bene resti snello, mi limiterò a toccare tre aspetti.

Cercherò di tratteggiare il quadro di consapevolezza che con Ceccato avevamo già nel 1965 a proposito della percezione e nell'ambito di un più generale modello dell'attività mentale.

Vorrei poi rammentare un certo numero di dati sperimentali relativi, soprattutto, alle nostre conoscenze di anatomofisiologia della retina e della coclea, che rendono a mio avviso fuorviante la presentazione che ne ha fatto Benedetti.

Vorrei infine esprimere alcune considerazioni sull'approccio che Benedetti propone nel suo intervento.

Il 1965 mi sembra una data significativa per delineare il quadro di consapevolezza che avevamo a proposito della percezione e nell'ambito di un più generale modello dell'attività mentale. "A model of the mind" di Ceccato, infatti, fu pubblicato nel 1965 e riflette, aggiornandole, lezioni tenute a Napoli nel 1962; chi scrive lavorava con Ceccato dagli inizi del 1960; e per Parini vale un analogo discorso, due suoi Rapporti Euratom in argomento sono rispettivamente del 1961 e del 1963. Al caso le bibliografie delle persone sono in linea sul sito di Methodologia, quelle su cui ho fatto aggiornamenti relativamente recenti sono all'URL <http://www.cnuce.pi.cnr.it/methodologia>.

Partiamo da un esempio tipico della problematica che a proposito della percezione abbiamo affrontato nella prima metà degli anni '60. È un esempio semplice, e molto noto tra noi. Si disegna un quadrato orientato in modo che le diagonali risultino una verticale e l'altra orizzontale. Si guarda la figura in questione e si nota che può essere designata o "quadrato", o "rombo", o "parallelogramma", o "quadrilatero", e queste non sono le sole designazioni possibili.

Di questa osservazione fenomenologica importa che una stessa situazione fisica, usata come stimolo visivo, possa portare a designazioni diverse, a cui sono sottese nozioni diverse. Ne discendono alcune conseguenze.

Non ci si può proporre di spiegare una designazione che segua da una percezione chiamando in causa unicamente la situazione fisica usata come stimolo. Questo è vero anche se fenomenologicamente si trovano casi in cui sistematicamente si ha una correlazione uno a uno, poiché sono tenuto a spiegare perché in quel caso si verifichi questa circostanza, dal momento che in altri casi trovo una relazione uno a molti che pure debbo spiegare. Ne discende un corollario, altrettanto chiaro una volta formulato, ma meno immediato. Non ci si può proporre di usare come sola spiegazione anche qualsiasi processo che sia causato unicamente dalla situazione fisica usata come stimolo, perché si ricade nelle medesime difficoltà.

Bisogna spiegare anche che cosa porti all'una o all'altra designazione, e in modo da poter prevedere quale risultato si osserverà quando nell'esempio in questione si chiede ad una persona di designare la figura presentata. Su questa seconda conseguenza una precisazione è d'obbligo. Qualcuno può ricordare posizioni del tipo "se parli così hai operato così", a cui chi scrive non indulgeva più di tanto perché, occupandosi ufficialmente della 'macchina che osserva e descrive', non poteva passare sotto silenzio il problema. Motivava questo atteggiamento la necessità, molto seria, di chiarirci che cosa dovevamo spiegare, perché la designazione era un 'target' troppo lontano, e sarebbe stato addirittura fuorviante se avessimo usato la parola per saltar via l'individuazione dell'attività costitutiva della cosa designata dalla parola stessa (era considerato ... teoconare). Torneremo in seguito sui rischi insiti nel non aver dato più spazio a questi aspetti

della problematica, qui vorrei continuare a delineare il quadro culturale e di consapevolezza di quegli anni.

Tra i contributi al quadro culturale e di consapevolezza di quegli anni vi fu anche l'invito da parte di Antonio Bairati, ordinario di Anatomia e condirettore del Centro di Cibernetica, a seguire la serie di lezioni-seminario che teneva ogni anno ai medici specializzandi in neurologia. A me regalò una introduzione sintetica, ma estremamente incisiva, all'anatomo-fisiologia del sistema nervoso, e mi vaccinò per sempre contro la nozione di neurone come organo a due stati che imperversava in quegli anni. Un'altro regalo preziosissimo fu l'esplicita raccomandazione di non considerare le sinapsi l'unica via di interazione tra i neuroni, tenendo ben presente la possibilità di interazione attraverso la diffusione di sostanze chimiche nello spazio intercellulare. L'importanza di questo avvertimento stava nell'apertura a modelli basati non soltanto sull'elettrofisiologia, ma anche sulla chimica: cioè su una biochimica non confinata ai classici processi metabolici. Tra i risultati vi fu, da parte mia, il successivo acquisto e la lettura della prima edizione del "Molecular biology of the gene" di Watson nell'anno della sua uscita, che è appunto il 1965 (questo dato, che ricordo con esattezza, è un altro degli elementi che mi permette di datare con ragionevole certezza il quadro di consapevolezza che sto delineando). Quel volume fu veramente un'iniziazione alla biologia molecolare, ma anche all'approccio ai processi biologici in termini di meccanica delle molecole con un'attenzione particolarmente vigile ai risultati quantitativi della chimica-fisica.

Concludo rammentando due scelte molto esplicite. La prima era il rifiuto di utilizzare dei 'deus ex machina': cioè introdurre parole che di fatto non designano altro che un problema aperto. Ne vedremo più avanti un esempio con l'attenzione nel modello della Treisman richiamato da Benedetti, che, peraltro, non è il solo ad andare soggetto a questa critica.

La seconda fu la scelta di limitare al massimo l'uso della finalità e dello scopo, a differenza di quanto accadeva, e molto più di ora, in biologia. Volevamo evitare di considerare, magari implicitamente, come scopo il costrutto mentale di cui ci proponevamo di descrivere l'attività costitutiva. Ceccato era particolarmente vaccinato contro errori di questo tipo, anche quando erano mascherati da una lunga catena di passaggi che non li rendeva immediatamente evidenti. La cosa si configurava infatti come una reintroduzione dell'errore conoscitivo, perché in questo modo si ipotizza che chi svolge attività mentale abbia il risultato prima del completamento della relativa attività costitutiva.

Il quadro di consapevolezza che ho delineato mi ha sempre portato alla conclusione che le attuali conoscenze di neurofisiologia, e di fisiologia, continuano a lasciare aperti i problemi che avevo alla metà degli anni '60. Tuttavia vale forse la pena rivedere le argomentazioni e verificare insieme se reggono. E dovremo anche chiederci perché ad una buona lucidità metodologica non abbiano fatto seguito, da parte nostra, risultati costruttivi di rilievo lungo questa direzione.

Passerei ora alla questione dei processi seriali e dei processi paralleli sollevata da Benedetti nel suo intervento. Mi permetto di interpretare, perché non posso pensare che egli intenda sostenere che non conoscevamo o non volevamo usare processi paralleli: dall'automobile al computer la tecnica è zeppa di esempi di processi paralleli e seriali frammisti tra loro. E in fisica è possibile considerare le variazioni di un campo come processi paralleli: infatti il punto di vista euleriano in idrodinamica, volendo, può venir descritto in questo modo. Ritengo quindi che Benedetti stia additando una questione diversa.

Penso si riferisca a sottoprocessi che, una volta avviati, procedono senza risentire di ciò che accade intorno, per cui non possono venir interrotti. In termini di modello di funzioni, l'espletamento della funzione è quindi pensato dipendere solo dall'avviare il sottoprocesso. In uno schema di attività costitutiva e relativi risultati, se a quel sottoprocesso ho correlato un'attività costitutiva, debbo trattare il relativo risultato come elementare. Infatti, anche se posso descrivere il risultato come un seguito di attività costitutive che sono tra quelle assunte come elementari in uno schema descrittivo generale, non posso ipotizzare, per come ho definito

le cose, che ne occorra soltanto una parte, tanto è vero che, quando ciò accada, debbo dichiarare che il sistema funziona male. Tuttavia, se le cose stanno in questo modo, stiamo discutendo di che cosa si sta assumendo come elementare, vuoi esplicitamente, vuoi attraverso i vincoli che ci si siano dati. La conclusione è che nel descrivere l'attività costitutiva è opportuno individuare anche ciò che interviene come elementare nella realizzazione.

Questo secondo aspetto della problematica è stato lasciato in ombra. Negli scritti sulla 'macchina che osserva e descrive' si precisa che l'attività costitutiva modellata si riferisce ad un soggetto di una data cultura ed età, e si ricorda che non viene modellata alcuna forma di apprendimento (si veda, ad esempio, il relativo capitolo nel "Corso di Linguistica Operativa"). Queste precisazioni lasciano addirittura aperta l'alternativa che alla stessa designazione possa corrispondere in momenti diversi o in soggetti diversi una differente attività costitutiva della cosa designata, ma, come si è detto, problemi di questo genere vennero sostanzialmente accantonati nonostante la loro centralità.

Vi è una conseguenza, non immediata, ma piuttosto illuminante dell'apprendimento che si riallaccia a questa problematica. L'acquisizione di automatismi, ad esempio motori, e più in generale ciò che viene ascritto alla memoria procedurale può dar origine a processi che, dal punto di vista della loro occorrenza, vanno considerati elementari per le ragioni discusse in precedenza.

Lo schema generale di riferimento per la descrizione dell'attività mentale richiede che le attività elementari siano definite una volta per tutte e tenute ferme, perché descrizione e teoria diventano altrimenti ingestibili. Su questo schema generale bisogna allora impostare una teoria che spieghi e predica cosa un certo soggetto usa come elementare in un certo momento della sua vita e in certe circostanze. Infatti l'acquisizione di un automatismo avviene sempre in un preciso contesto che ne condiziona poi l'attivazione. Chi sa giocare a tennis mette in atto certi automatismi quando ha impugnato la racchetta, la palla sta arrivando in un certo modo, l'avversario è in una certa posizione del campo, etc. La stessa cosa vale per l'assetto e i movimenti del nuoto: scattano solo al mare, al lago, o in piscina, e quando ci si adagia sull'acqua, ma non scattano quando ci appoggiamo con i piedi sul fondo anche se siamo immersi con buona parte del corpo.

L'imparare a suonare uno strumento musicale, o il riacquistare certe capacità perdute a seguito di traumi o lesioni cerebrali ci offrono poi esempi di come sia articolato l'apprendimento, perché le prestazioni che si ottengono sono legate anche alla sequenza secondo cui si imparano certi automatismi - penso ai vari metodi per imparare a suonare uno strumento musicale. Questi aspetti supportano l'affermazione generale che ciascuno opera con l'architettura biologica che si ritrova in quel particolare momento e operando la modifica. L'affermazione suona a prima vista banale e pleonastica, ma proviamo a pensare alla quantità di lavoro sperimentale raffinato e complesso necessaria per far diventare questa affermazione il fondamento di una teoria in grado di fornire predizioni ragionevolmente sicure.

I modelli che semplicemente collezionano ciò che i vari soggetti possono usare come elementare, chiaramente non risolvono il problema, e sono costretti ad introdurre poi elementi, come l'attenzione nel modello della Treisman, in cui si nasconde una parte essenziale del fenomeno percettivo.

Un altro punto su cui vorrei soffermarmi è il modo di interpretare schemi e reti neurali. Questi schemi sono di solito disegnati con un numero limitatissimo di sinapsi: qualcuna in arrivo e, di solito, una sola sull'assone. A quanto ne sappiamo, il numero di sinapsi per neurone è molto variabile da un tipo di neurone all'altro, e si sono distinti svariati tipi di neuroni. Un motoneurone spinale ha circa 10.000 sinapsi in arrivo, e una cellula di Purkinje nel cervelletto arriva a 150.000. Chiaramente, gli assoni di questi e/o altri neuroni debbono portare i relativi bottoni sinaptici, e la complessità è analoga in arrivo e in partenza. Questi numeri, già come ordine di grandezza, ci obbligano a ricordare che schemi di reti neurali con un solo bottone sinaptico per assone e tre o quattro sinapsi in arrivo sono lontanissime da ciò che conosciamo dell'anatomia

del sistema nervoso umano. Inoltre portano a pensare ad una diffusione nello spazio dell'attivazione indotta da un neurone, piuttosto che all'attivazione di un altro neurone soltanto. Per interpretare correttamente questi schemi bisogna quindi pensare che essi vogliano soltanto indicare in prima approssimazione il flusso delle attivazioni e inibizioni tra una zona e un'altra.

La generazione del potenziale d'azione sull'assone di un neurone è un processo complesso, soprattutto nei fattori che lo promuovono. Anche se si vuole interpretare questo processo come elementare, la frequenza con cui il processo avviene e come questa varia nel tempo sono elementi che non possono venir trascurati, così come gli effetti delle sinapsi assone su assone che, essendo spesso inibitorie, creano dei vuoti nel treno di impulsi che viaggia lungo l'assone. Queste modalità temporali, oltre che poter essere impiegate per distinguere differenti processi fisici, individuano la quantità di energia per unità di tempo, potenza, messa in gioco nell'interazione tra neuroni. E da altri campi della fisica sappiamo che i cambiamenti sono fortemente correlati alla potenza messa in gioco nell'interazione.

Le medesime considerazioni possono venir applicate all'ipotesi che il funzionamento di un singolo neurone sia correlabile, ad esempio, al riconoscimento del viso di un primate. Si tratta infatti di un'ipotesi decisamente ortogonale a ciò che conosciamo dell'architettura del sistema nervoso. Mi è capitato di leggere che l'attivazione di un neurone è correlabile con lo svolgimento di una specifica attività, ma nel senso che quando osserviamo quell'attività, osserviamo anche l'attivazione di quel neurone. Non ho mai incontrato esperimenti che dimostrino che un solo neurone si attiva soltanto quando osserviamo una certa attività del soggetto (la didascalia della figura 30-20 nella 3° edizione del Kandel, che ho studiato anni fa, era "Response of a cell in the brain of a monkey to the face of a monkey and a man, as well as to degraded or different images. This cell in the inferior temporal cortex responds preferentially to faces"). Le neuroscienze sono però in rapida evoluzione, e accetto volentieri indicazioni di esperimenti di cui non sono a conoscenza.

In linea generale, possiamo dire che quando un modello associa l'espletarsi di funzioni complesse all'attivazione di un neurone singolo presta il fianco alle obiezioni che sono state avanzate per la concezione organicistica.

Nemmeno il funzionamento della retina e della coclea sono riconducibili agli schemi semplici che Benedetti propone nel suo intervento.

La retina ha una struttura con caratteri comuni nell'uomo, nei primati, nel gatto, nel topo, e in altri mammiferi. Vi sono cinque famiglie di cellule neuronali - i recettori, le cellule bipolari, le gangliari, le cellule orizzontali, e le amacrine - che possono presentare più tipi. L'assone dei recettori non va a costituire direttamente neppure il primo tratto del nervo ottico. Il numero di recettori è molto superiore al numero di fibre nervose distinte che costituiscono il nervo ottico e la corrispondenza è variabile per zone diverse della retina. La corrispondenza tra attivazione di un singolo recettore e attivazione lungo una singola fibra del primo tratto del nervo ottico è messa totalmente in crisi dalla presenza di una nutrita serie di interconnessioni intermedie. E si tenga ben presente che ciascuna di queste cellule ha più sinapsi (non mi è possibile sintetizzare questa architettura in una figura senza risultare molto fuorviante; preferisco indicare una presentazione della retina piuttosto chiara e ricca di bibliografia e di immagini che può essere trovata all'URL: <http://webvision.med.utah.edu>). La presenza di un complesso reticolo di interconnessioni trasversali impedisce di assimilare il funzionamento della retina a quello di un mosaico di elementi fotosensibili indipendenti. Quando si studia il funzionamento della retina da un punto di vista biochimico la distanza da un mosaico di elementi fotosensibili indipendenti diventa ancora maggiore.

Gli esperimenti risentono ovviamente di questa complessità della struttura anatomofisiologica della retina, e quindi, riguardano stimolazioni estremamente semplici. Schematizzando i risultati, possiamo dire che se si va ad eccitare un singolo bastoncino non si hanno risposte

significative a livello delle cellule gangliari, i cui assoni vanno a costituire il primo tratto del nervo ottico. Se invece si agisce su un'areola di dimensioni variabili a seconda della zona della retina, si trova che l'attivazione delle cellule gangliari ha dei massimi quando l'illuminazione della zona circolare centrale è molto diversa da quella dell'anello che la circonda, ma con comportamenti abbastanza articolati, soprattutto al cessare della stimolazione (si veda, ad esempio, il testo del Kandel richiamato da Benedetti, o il sito web indicato sopra). La durata dell'illuminazione in questi esperimenti è tipicamente attorno a 0.5 sec. Non ho presenti risultati sperimentali relativi ad illuminazione di aree più vaste, che sarebbero di maggiore interesse per i processi percettivi. Siccome in questo modo risulterebbero interessate parecchie gangliari vicine, gli esperimenti si complicano enormemente.

Se passiamo alle discriminazioni legate alla diversa lunghezza d'onda della luce incidente, usualmente indicate come percezione dei colori, troviamo risultati relativi all'attivazione delle sinapsi dei singoli coni. Si sa che un singolo recettore cono contiene solo uno dei tre pigmenti che si trovano analizzando coni diversi. È nota la probabilità che un cono assorba un fotone di data energia (l'energia del fotone è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda della luce incidente). Si trova che i tre tipi di coni hanno distribuzioni di probabilità diverse: in particolare, le densità di probabilità sono molto variabili con la lunghezza d'onda ed hanno picchi in corrispondenza di lunghezze d'onda diverse (420, 531, e 558 nm). È noto che l'attività sinaptica dei singoli coni dipende dal numero di fotoni assorbiti e non dipende dalla loro energia, per cui diverse combinazioni di intensità e lunghezza d'onda possono portare ad un uguale numero di fotoni assorbiti da uno stesso cono, e quindi alla stessa attività sinaptica.

Questi fatti, uniti alla presenza della serie di interconnessioni di cui abbiamo detto, porta ad uno schema di attivazione delle gangliari analogo a quello visto in precedenza, ma decisamente più complicato. Nemmeno qui ho presenti risultati sperimentali relativi ad eccitazione di aree più vaste della retina che, al solito, sarebbero di grande interesse per lo studio della percezione, ma dove gli esperimenti sarebbero ancora più complessi.

Vi sono poi casi che, come quello citato all'inizio di questo intervento, mettono completamente in crisi ogni tentativo di forzare l'interpretazione dei funzionamenti della retina. È relativamente facile costruire un cubo con la faccia verticale e frontale bianca, e con quella orizzontale nera. Si possono poi rappresentare: uno spot sfumato di luce al centro della faccia orizzontale, e uno spot sfumato di ombra al centro di quella verticale. Giocando opportunamente sullo sfumato, chi guarda ha l'impressione di vedere un piano orizzontale di colore nero illuminato, e un piano verticale di colore bianco con un'ombra centrale. Se si confrontano le zone illuminate e quelle in ombra si trovano, ovviamente, toni di grigio in molti punti uguali. Un altro fenomeno molto comune, e a mio modo di vedere eclatante, è il fatto che vediamo giallo un limone anche cambiando in maniera significativa il colore dominante dell'illuminazione. Nel primo di questi esempi la componente cognitiva è immediatamente evidente, anche se ad un primo impatto con una figura ben fatta, si vede nera la faccia orizzontale. Nel caso del limone il vederlo giallo è un effetto molto più resistente, perché potrebbero essersi instaurati cambiamenti nell'architettura biologica del tipo di quelli che ci aspettiamo per l'instaurarsi di fatti di memoria procedurale.

Anche il funzionamento della coclea è molto lontano da uno schematismo così secco come quello proposto da Benedetti nel suo intervento. Leggendolo sembra di essere tornati ad Helmholtz! La singola fibra del nervo acustico mostra un picco di risposta su una frequenza caratteristica quando si stimola l'orecchio con un tono di data frequenza. Tuttavia, la curva riportata nella Fig. 32-9 dell'edizione che ho del Kandel, ha il picco a 2 kHz e 15 dB, ma a 30 dB ha risposta, larghezza di banda, su un arco di circa 400 Hz simmetrico rispetto al picco, e a 50 dB su un arco di oltre 1 kHz fortemente asimmetrico rispetto al picco. Già dati come questi indicano l'opportunità di mettere in gioco quantità, e non un semplice on/off.

Inoltre, sempre per una stimolazione dell'orecchio con un tono di data frequenza e intensità, il moto del timpano dà origine ad un movimento complesso delle membrane e dei fluidi entro la coclea. Per frequenze che coprono l'estensione del pianoforte questi movimenti interessano in

misura quantitativamente diversa un tratto piuttosto esteso dell'allineamento dei recettori lungo la coclea: per frequenze molto basse interessa tutta l'estensione della coclea, e al crescere della frequenza diminuisce il tratto interessato. Per frequenze ancora più alte sono interessati solo i recettori del tratto più prossimale. Nella coclea, quindi, già la risposta meccanica alla stimolazione crea effetti analoghi a quelli indotti nella retina dalla rete di interconnessioni.

La dinamica, 110 dB, del sistema uditivo umano e i risultati sperimentali con stimolazione un poco più complessa in termini di frequenza e intensità, hanno portato a modelli che tengono conto anche dello schema temporale di attivazione dei neuroni messi in gioco.

Vi sono poi vie efferenti dal sistema nervoso centrale capaci di alterare le caratteristiche meccaniche dell'organo del Corti.

Come si vede, siamo veramente molto lontani dalla posizione delineata da Benedetti nel suo intervento.

Gli aspetti cognitivi, e soprattutto l'apprendimento, hanno un peso determinante anche nella percezione che si appoggia all'udito. Possiamo ricordare che nella musica classica dell'Occidente basata sulla scala temperata, l'estensione abbraccia un intervallo di frequenze che va da 27.5 Hz a 4186 Hz, e in questo intervallo sono inserite 7 ottave + un La e Si bassi, e un Do alto: in tutto 88 suoni della scala temperata. Questi crudi dati penso possano dare un'idea di quanto forte sia la pressione dell'apprendimento nella percezione di un pezzo musicale che si fonda su questa cultura.

La parte sull'attenzione ha nell'intervento di Benedetti una presentazione non limpida già a livello fenomenologico. La presentazione più chiara e ordinata dei comportamenti che storicamente si riconducono al dominio dell'attenzione, a mio avviso, resta ancora quella di W. James nei suoi "The Principles of Psychology" uscito nel 1890. A questa fenomenologia nel nostro ambito di studi sono stati aggiunti, in via di ipotesi, la categorizzazione mentale, e alcuni fatti relativi alla percezione e al mondo delle emozioni estetiche.

Contributi in questa seconda direzione sono stati dati con più decisione e continuità da Parini, ma in chiave didattica, cioè con una forte componente pratica, e con minore continuità da Ceccato e da altri di noi. Di Ceccato ricorderei oltre ai lavori sul modello generale, gli scritti che hanno dato origine a "La fabbrica del bello" e tra questi, particolarmente quelli su Monteverdi. Chi scrive, oltre a contributi su aspetti del modello generale, ha usato questo tipo di ipotesi come 'background' in una attività di critica d'arte, svolta su NAC dal 1969 al 1974, e per uno studio sulla nascita della prospettiva rinascimentale.

Quanto alle neuroscienze, concordo con l'affermazione ascoltata in uno dei seminari di quest'anno qui a Pisa: non possediamo ancora una risposta che renda conto della fenomenologia dell'attenzione descritta da W. James più di un secolo fa. E, ovviamente, non abbiamo neppure una risposta agli allargamenti da noi proposti come ipotesi.

A chiusura di queste note vorrei riprendere un punto a cui ho accennato delineando il quadro di consapevolezza alla metà degli anni '60: perché, cioè, un quadro di buona lucidità metodologica sia rimasto, tutto sommato, abbastanza poco utilizzato.

Non è opinione soltanto mia che le neuroscienze abbiano avuto più danni che utilità facendo riferimento per i propri modelli all'ingegneria piuttosto che alla fisica. Nell'approccio dell'ingegneria troviamo infatti tre decisioni fortemente fuorvianti per la biologia tutta, e non solo per le neuroscienze.

La prima concerne i materiali, che in ingegneria sono pensati immutabili: nel senso che mutamenti di caratteristiche del materiale per effetto del funzionamento, che pure ci sono, sono considerati dannosi. Conferma di questa scelta è la decisione di sostituire un pezzo con un nuovo esemplare quando il materiale non abbia più le caratteristiche volute dal progetto; ma il risultato è che noi consideriamo che le macchine si deteriorino, e non che apprendano.

La seconda concerne le funzioni che, anch'esse, sono pensate immutabili. Inoltre la situazione ottimale consiste nell'avere funzioni affidate a singoli apparati il più possibile isolati, e interagenti

soltanto al tempo e con le modalità previste dal progetto.

La terza concerne la presenza di uno schema mezzo-scopo e di un progetto a monte della realizzazione.

Ho richiamato esplicitamente quest'ultima notazione così ovvia perché ritengo che tale scelta segni una distinzione, netta, tra l'approccio dell'ingegneria da una parte, e l'approccio della fisica e di una biologia come scienza naturale dall'altra.

Due esempi sono forse il miglior commento. Nessuno di noi pensa che il sistema solare funzioni nella maniera che sappiamo perché deve raggiungere un qualche scopo; pensiamo piuttosto che la sua configurazione e la sua dinamica siano effetto dell'interazione gravitazionale tra i suoi componenti. Se prendiamo le descrizioni correnti del funzionamento di una cellula troviamo invece analogie molto strette con la descrizione di una fabbrica chimica.

Sotto la spinta di forti ragioni pratiche anche la medicina si è mossa con un approccio diverso da quello della fisica. Nella clinica medica interessano infatti gli scostamenti dallo stato dell'organismo che consideriamo di salute, e per questo si preferisce mettere a punto parametri che caratterizzino lo scostamento. Il medico agisce, a sua volta, con lo scopo di eliminare gli scostamenti diagnosticati. Per questi scopi può bastare un sistema classificatorio sufficientemente articolato delle cose che si considera necessario e opportuno correggere, e una rete di correlazioni ragionevolmente sicure tra interventi ed effetti correttivi. È ovviamente preziosa una più approfondita conoscenza dei due stati, quello considerato normale e quello considerato patologico, soprattutto per gestire meglio gli effetti collaterali che spesso accompagnano la terapia principale. I tempi e le difficoltà di acquisizione di tale conoscenza si accordano tuttavia male con le esigenze pratiche della cura dei malati, per cui si è lasciato che essa proceda con il suo passo e vada a costituire la conoscenza di base su cui si appoggia la pratica medica.

Si delineano così due filoni di studio e sperimentazione: uno volto a caratterizzare l'organismo e i suoi funzionamenti, e l'altro dedito a mettere a punto interventi sull'organismo che presentino correlazioni sicure con effetti terapeuticamente significativi. I due approcci sono molto differenti e i risultati sperimentali del secondo, a cui ovviamente si dedicano maggiori risorse, possono venir trasferiti nel primo solo indirettamente e con molta difficoltà. Basti pensare che le terapie farmacologiche si avvalgono anche di sostanze che non sono prodotte dall'organismo, e usano dosi spesso lontane da quelle fisiologiche delle sostanze che l'organismo produce. Il medico, poi, fa benissimo a vedere finalisticamente i processi che accadono in una cellula o nel fegato, purché sia ben chiaro che quelle finalità sono sue e del paziente, ma non certo della cellula o del fegato.

Nel campo biomedico non si è ancora instaurata una separazione tra i due filoni così netta come quella tra fisica e ingegneria. I modi di pensare della fisica faticano quindi ad instaurarsi tra coloro che studiano struttura e funzionamenti degli organismi biologici e la strada di ripensare la biologia come un capitolo della fisica è pressoché tutta da percorrere, nonostante le cose stiano mutando velocemente e la biologia molecolare spinga in questa direzione.

Una volta imboccata questa strada, la complessità delle architetture biologiche e dei relativi funzionamenti diventa un fattore chiave, piuttosto che un ostacolo. Definisce infatti il range di interazioni a cui il sistema è sensibile, e le quantità di energia in gioco nei suoi cambiamenti: in una parola gli stati e i percorsi possibili del sistema, compresi quelli che segnano la dissoluzione dei 'cluster' al cui studio siamo interessati in biologia. I sistemi biologici mettono in gioco quantità di energia piuttosto basse nei loro processi; la complessità architettonica li rende allora reattivi ad un vasto spettro di azioni dell'ambiente, verso cui sono aperti attraverso scambi di materia ed energia.

La presenza dell'apprendimento pone poi una sfida severa perché introduce cambiamenti significativi nell'architettura del sistema biologico su scale di tempi molto vicine a quelle dei processi con cui descriviamo il suo funzionamento. Siamo quindi costretti ad ampliare molto il numero di stati significativi, e disegnare, su questo tessuto di stati possibili, stati e percorsi che hanno avuto attuazione per il particolare sistema che stiamo studiando. E il tessuto di possibilità

andrà ancora ampliato se ci proponiamo di accomodarvi anche i percorsi individuati dalla storia: per l'uomo, dall'antropologia.

Per evitare di incorrere in paradossi come quello di Achille e della tartaruga architettato da Zenone, la strategia probabilmente più sicura è considerare i cambiamenti architeturali sincroni ai processi con cui descriviamo il funzionamento, e lasciare che la stabilità nel tempo dei cambiamenti scaturisca a posteriori dalla teoria che descrive la dinamica del sistema anziché tentare di introdurla a priori nella teoria stessa. Questo approccio è del resto molto comune nella fisica moderna, mentre per la biologia è un cammino quasi tutto da percorrere già per la cellula, e quindi a maggior ragione per organismi complessi come l'uomo. L'impiego di equazioni per la descrizione fisica appare una scelta pressoché obbligata, ma è una scelta tutt'altro che indolore per la sperimentazione, poiché la presenza assenza di qualcosa, molecole o spikes, non basta più, e diventa necessario misurare quantità, loro derivate rispetto al tempo, gradienti, etc.

Negli anni '60 non mi riuscì di vedere con chiarezza che non vi era alcuna contraddizione nel proporsi di descrivere per intero il comportamento umano restando nell'ambito della fisica: dandone cioè una descrizione in termini di fisica. Questo configura una indipendenza della neurofisiologia dal mentale che oggi è per me pacifica, tanto che mi sembra puerile non averci pensato prima (in realtà era la presunzione dell'antropocentrismo). Una descrizione in termini di fisica è governata dall'esperimento, e i tentativi di sostituire il modello all'esperimento sono destinati a fermarsi presto, perché in una situazione complessa si possono proporre più modelli ma senza l'apporto degli esperimenti viene a mancare un criterio cogente di scelta.

In una descrizione di questo tipo la finalità ancora una volta non ha posto. In questo contesto, infatti, non interessa perché un soggetto svolga una certa attività, ma se si ipotizza che i processi fisiologici che si hanno all'occorrenza di un'attività che il soggetto finalizza siano gli stessi che si hanno all'occorrenza di un'attività non finalizzata, oppure no; e poco importa che si tratti di un'attività fisica o mentale. Con Ceccato si è ipotizzato che camminare, voler camminare, e dover camminare abbiano quale corrispettivo tre attività fisiologiche diverse. Saranno tuttavia gli esperimenti a decidere; e a me non è sinora riuscito di individuare conseguenze osservabili che siano un buon sostegno di questa ipotesi, come invece mi sembra di essere riuscito per l'ipotesi fatta a proposito del ricordo.

Va da sé che posso sempre avere, come antefatto, un'attività che mi porta ad eseguire deliberatamente un'attività successiva; ma questo è un altro problema.

Già alla metà degli anni '60 ci era chiaro che il rapporto tra mente e cervello andava affrontato stabilendo una corrispondenza biunivoca tra il mentale e processi fisici che accadono nell'uomo, o se si vuole nel suo organismo. Quanto a me, sapevo benissimo che bisognava indicare senza infingimenti dove, come, e quando osservare. Del mentale avevo un modello, sia pure ipotetico, ma una descrizione fisica del funzionamento del sistema nervoso sufficientemente articolata per poter stabilire questa corrispondenza mi mancava allora e mi manca ancora oggi. Le cose, semmai, mi si sono complicate, perché sono consapevole che l'apprendimento pone il problema concettuale di stabilire la corrispondenza con qualcosa che muta di continuo la sua architettura e il suo funzionamento in maniera significativa.

L'idea di far variare lungo l'arco della vita del soggetto le attività che si assumono come elementari non mi piace: teorie fatte in questo modo diventano di fatto ingestibili. Nel contributo agli "Studi in memoria di Silvio Ceccato", che ho successivamente rielaborato in versioni disponibili sul sito web di Metodologia tra i "testi", ho provato ad indagare le implicazioni che si hanno quando si richieda che un'attività mentale diversa da quelle assunte come elementari abbia la proprietà di potersi ripresentare nella vita di uno stesso soggetto e in soggetti diversi. Le due soluzioni proposte - definirne l'occorrenza usando solo una parte dei processi fisici che accadono nel soggetto, oppure usare una categoria mentale abbastanza semplice, come "stesso", applicata ovviamente dal soggetto e non dall'osservatore - benché non si escludano a vicenda, non mi convincono completamente, soprattutto perché hanno vantaggi e svantaggi in larga misura scambiati (la necessità di supporre che le categorie al di sotto di una certa complessità, una volta imparate, abbiano uguale realizzazione in tutti i soggetti non mi sembra

un vincolo troppo forte). Quindi ho ancora più problemi aperti che soluzioni convincenti. D'altra parte l'assenza di un quadro dell'attività fisiologica sufficientemente articolato e, soprattutto, non limitato a momenti sporadici e tra loro distanti, è una mancanza altamente critica. Viene a mancare, come si è detto, il vaglio degli esperimenti sui modelli e sulle ipotesi, e tutto diventa insieme possibile e senza prova. Una bella sfida aperta!

Chiudo con un invito. Ceccato aveva deciso, motivandolo, di non usare il termine 'metodologia operativa', e usava invece 'tecnica operativa'. Vogliamo tornare anche noi a questa usanza?

Pisa, 2 luglio 2002

Renzo Beltrame