



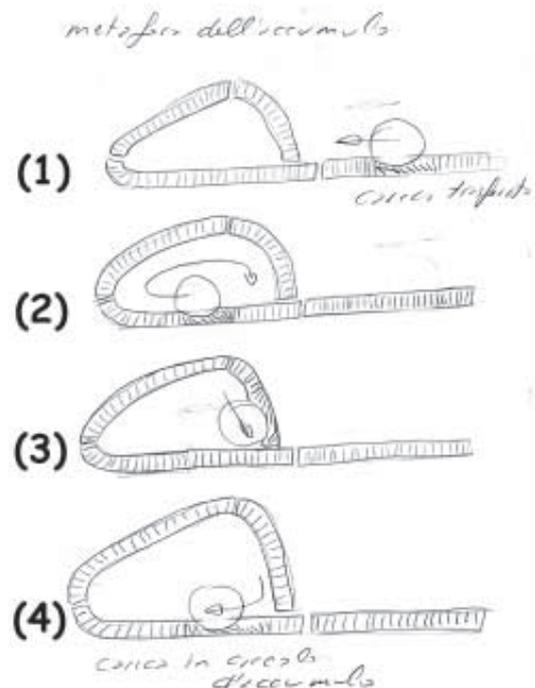
**330** Come è possibile evitare l'automobile che passa con il rosso al semaforo. La lavagna descrive da sinistra verso destra: (i) la scena al semaforo, (ii) la macchina cibernetica che è messa in moto dall'evento inatteso, (iii) una schematizzazione della anatomia dell'occhio umano. Come nel caso delle lavagne 300-310, l'indizio dinamico proviene dall'esterno, ma questa volta è rilevato da un sensore libero (occhio) e non direttamente da un elemento dinamico ed è quindi costretto a compiere l'intero percorso del sistema nervoso prima di giungere sugli elementi dinamici e produrre il movimento.

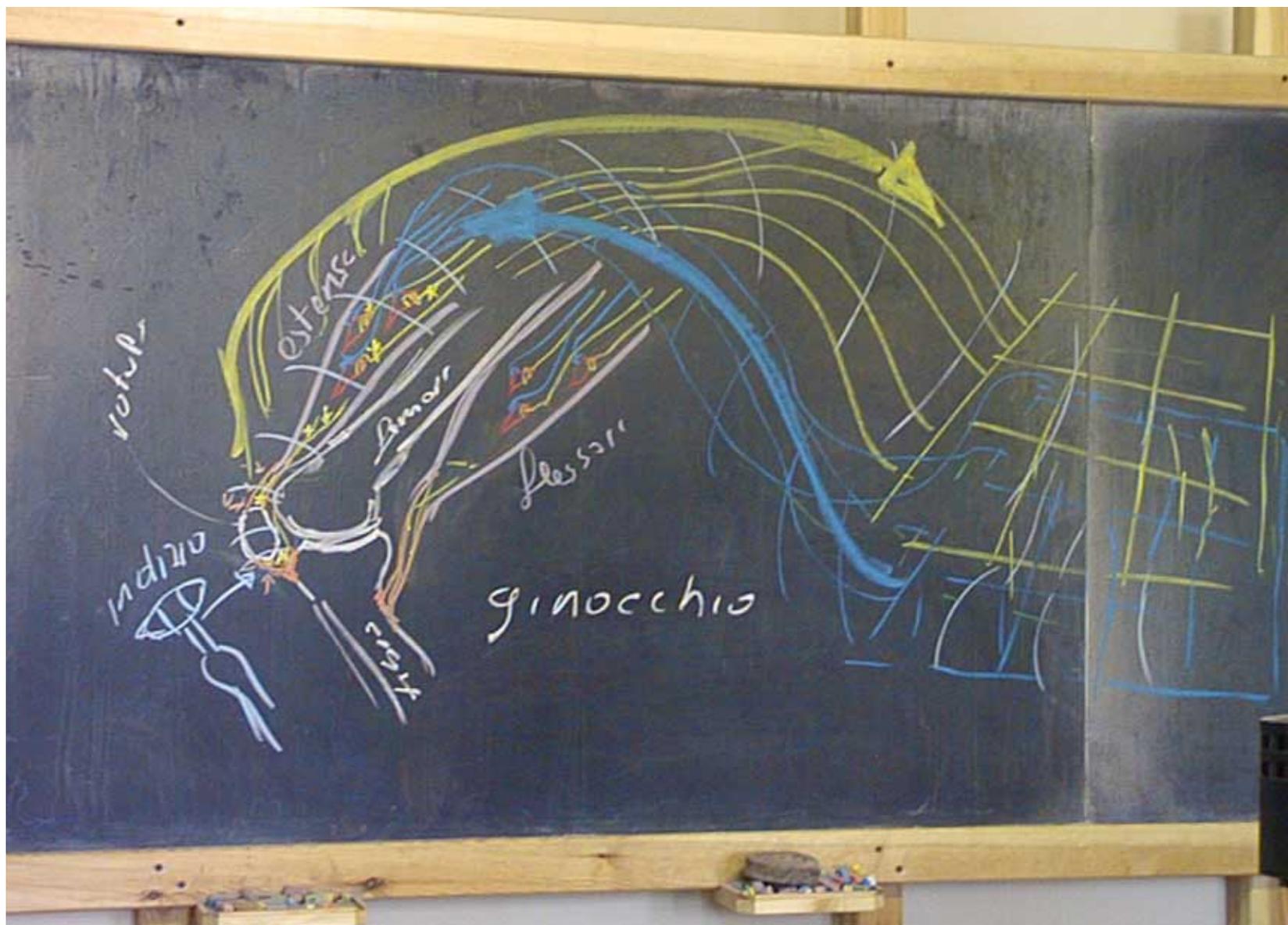
## 8. MEMORIA E CONNESSIONISMO

- 8.1 Dispositivo elementare di memorizzazione
- 8.2 Il connessionismo all'opera
- 8.3 Biologia molecolare ed elaboratori paralleli
- 8.4 Neuroscienze e Darwinismo neurale
- 8.5 Eccitazione, sistema, risposta
- 8.6 Le basi neuropsicologiche del movimento
- 8.7 La dinamica del calcolo neuronale
- 8.8 La mente come dispositivo di entrata-uscita
- 8.9 La mente come sistema dinamico
- 8.10 Un semplice sistema dinamico di neurobiologia

**8.1 Dispositivo elementare di memorizzazione.** L'impulso elettrico, che trasporta il "quanto" di informazione viene acquisito in una sorta di registro di accumulo, secondo un dispositivo di permanenza, che garantisce la possibilità di elaborazioni successive. Questo può essere rappresentato facendo ricorso a diversi modelli. È opportuno ricordare che, pur nella loro diversità, tutti i modelli fanno riferimento a processi energivori. Un modello statico prevede l'esistenza di componenti bistabili; un modello dinamico prevede l'esistenza di circuiti chiusi di accumulazione attraversati periodicamente dall'impulso. Si ritiene opportuno adottare questo secondo modello, a metà strada tra l'iconico e il sistemico, in quanto presenta certamente un elevato grado di affinità con la struttura anatomica del cervello.

In Lavagna 110, viene fornita una rappresentazione assai schematica e riassuntiva, i cui dettagli sono approfonditi con la necessaria completezza nel Capitolo 9 del presente lavoro. In questa sede preliminare, nella figura a destra è rappresentato l'anello di accumulazione. nei quattro momenti essenziali di funzionamento: (1) arrivo dell'impulso, (2) entrata in circolazione, (3) attivazione di un semaforo ros-





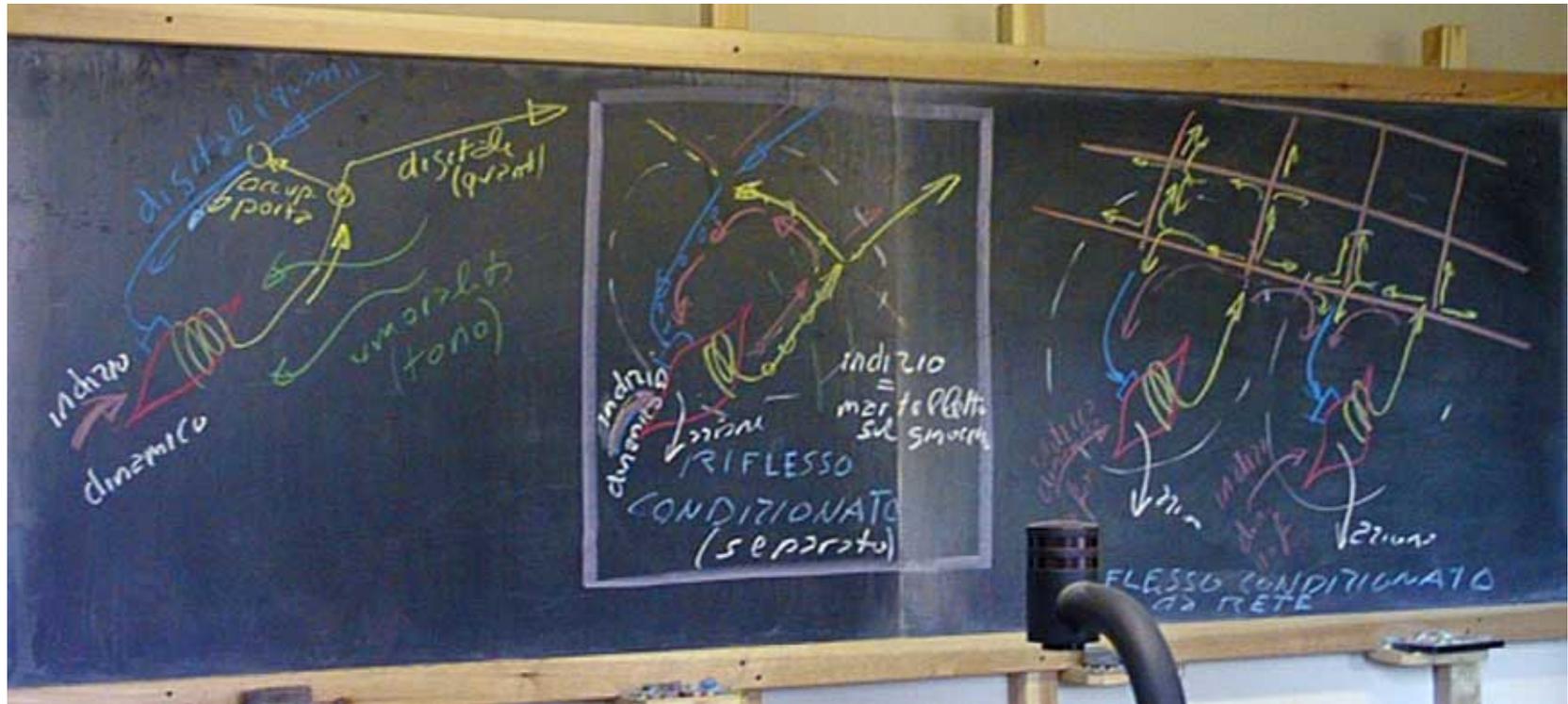
310 Sulla sedia dell'ortopedico (il colpo di martello sul ginocchio).

so per eventuale arrivo di un ulteriore impulso dal ramo di ingresso, (4) inizio del giro successivo. Gli ordini di grandezza discussi in precedenza per le lunghezze e i tempi degli impulsi permettono di ipotizzare una presenza multipla all'interno del circuito di accumulazione dinamica, sotto forma di treni di impulsi in moto permanente. La distanza minima tra impulsi consecutivi è imposta dai fenomeni di ripristino della posizione eretta delle tessere del domino.

*di sedimento a far la mente  
le mille storie  
col corpo mio a supporto  
fanno ologrammi*

**8.2 Il connessionismo all'opera.** Come conseguenza di quanto ora detto, si determina una soglia di saturazione del circuito, in termini di numero massimo di impulsi memorizzabili al proprio interno. Quando è raggiunto questo numero critico, il semaforo diventa rosso in permanenza creando una fila d'attesa per gli impulsi in arrivo dal ramo di ingresso. La pressione che così si viene a creare, effetto della alterazione dei potenziali elettrochimici locali, abilita la formazione di una connessione dendritica verso una  $p$  adiacente opportunamente a disposizione. Si intuisce facilmente come, secondo questo schema, il permanere di uno stimolo esterno tenderebbe a creare un treno di impulsi talmente lungo da impegnare porzioni di memoria anche molto vaste. Come può il cervello interrompere questa ingerenza dall'esterno? La risposta a questo quesito deve essere ricercata nella presenza, a fianco di alcune  $p$  di natura afferente (sensoriale), di altrettante  $p$  di natura efferente (motoria). Il coinvolgimento di questi ultimi nel processo di propagazione diffusiva appena descritto comporta azioni di natura reattiva rispetto allo stimolo, o, più precisamente, di compiacenza nei confronti di stimoli graditi e di rimozione nei confronti di stimoli non graditi.

La Lavagna 310 illustra schematicamente il meccanismo di reazione rispetto ad uno stimolo esterno. Il modello finora adottato ricalca le orme di quanto, nell'ambito delle scienze cognitive, può essere definito come "evoluzione temporal e della popolazione di connessioni tra neuroni" o, molto più brevemente, "cinetica neuronica". I modelli della disciplina così denominata si sono af-



**300 Gallia divisa est in partes tres.** La lavagna è divisa in tre parti: nella prima compare uno schema di assemblaggio dei componenti base, nella seconda il medesimo schema è corredato dai flussi energetici, nella terza è possibile vedere come opera un modulo periferico al presentarsi di un indizio dinamico (il colpo di martelletto sul menisco). La lavagna 310 fornisce una rappresentazione funzionale del cosiddetto riflesso condizionato. La differenza tra le due lavagne sta nel fatto che dietro l'elemento dinamico è stata posizionata una rete: per cui l'anello non si chiude più localmente, ma il fronte in uscita è il risultato dei contributi di flusso di tutte le zone della rete.

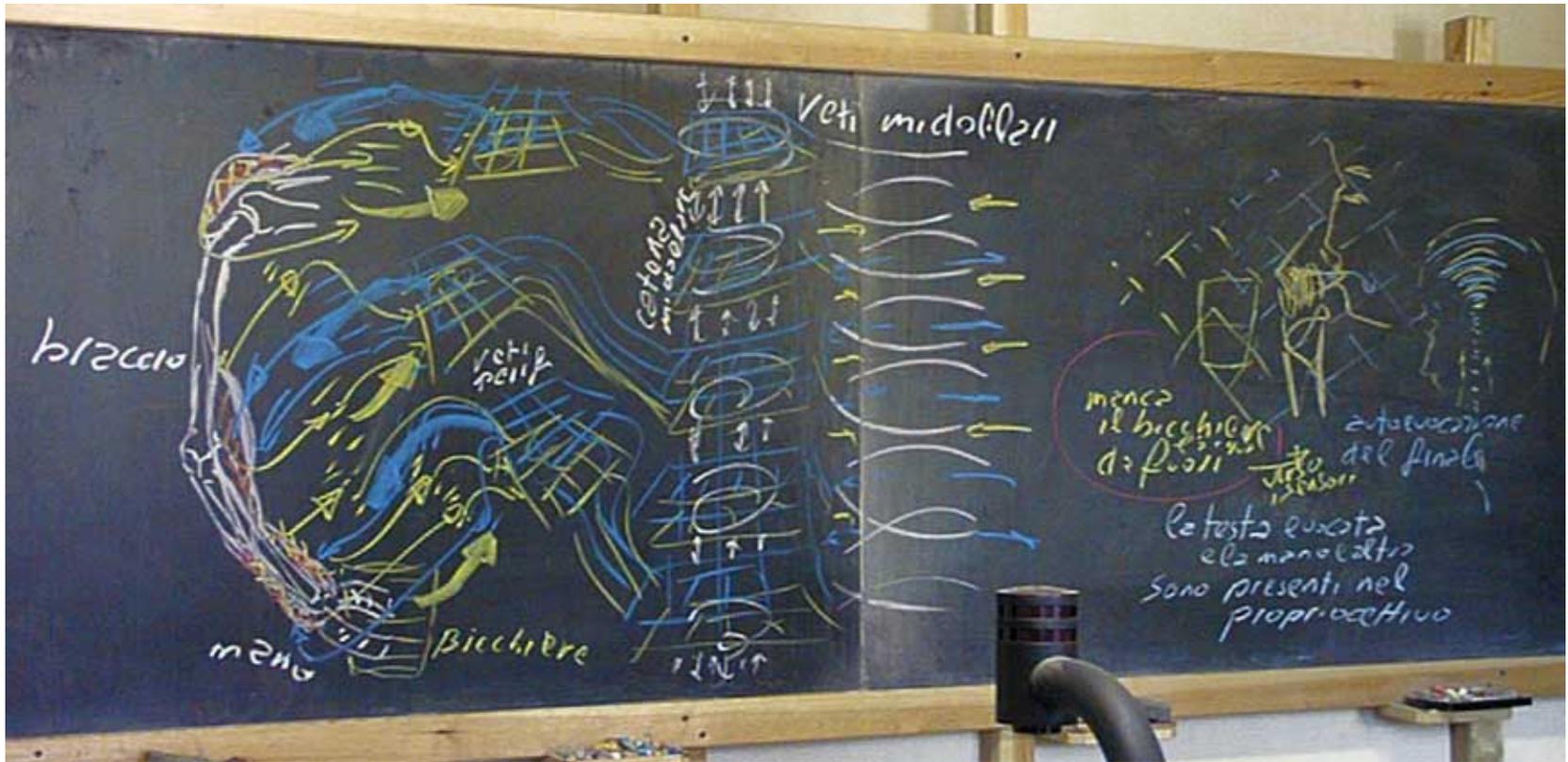
fermati in breve tempo durante l'ultimo decennio in maniera quasi clamorosa, tanto da far invocare un nuovo paradigma *à la* Thomas Kuhn. Le spinte decisive per l'adozione del connessionismo vengono da due tipi di considerazioni: la prima, di natura tecnologica, è importata dal mondo degli elaboratori elettronici; la seconda, di natura biomolecolare, rappresenta un'esigenza dell'universo delle neuroscienze.

*tra fuori e dentro  
a squilibrar flusso s'avviene  
che d'innesca  
scala si scorre*

**8.3 Biologia molecolare ed elaboratori paralleli.** Dal punto di vista tecnologico, la struttura degli elaboratori di terza e quarta generazione si è rivelata sempre più inadeguata ai compiti in continuo incremento di complessità che le esigenze dell'innovazione tecnologiche impongono. Questi elaboratori sono concepiti in base a una architettura sequenziale, con una memoria passiva che non può essere utilizzata per compiere operazioni, e con una conseguente strozzatura, a collo di bottiglia, tra memoria e processore.

Sul versante neuropsicologico, esiste una notevole incongruenza tra la struttura biomolecolare del sistema nervoso centrale e l'*hardware* degli elaboratori. Il primo soggetto opera con elementi relativamente lenti, che scaricano con tempi dell'ordine di grandezza dei ms, ma presentano un numero di interconnessioni straordinariamente elevato. Ne consegue che l'incredibile velocità con cui il sistema centrale è in grado di operare appare il frutto di un numero elevatissimo di operazioni effettuate in parallelismo invece che in serie. In altre parole, fino a tempi recenti, gli elaboratori hanno operato, e nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale hanno cercato di simulare il comportamento della mente umana, con elementi assai rapidi operanti serialmente.

In contrasto, il sistema nervoso centrale opera con elementi relativamente lenti, ma massivamente interconnessi in parallelo. La modellistica si è oggi indirizzata prevalentemente, sia nella progettazione degli elaboratori cosiddetti di quinta generazione, sia nell'interpretazione del funzionamento del sistema nervoso, verso il connessionismo. Si tratta di modelli tra l'altro compatibili con alcune vecchie idee della psicologia classica e,



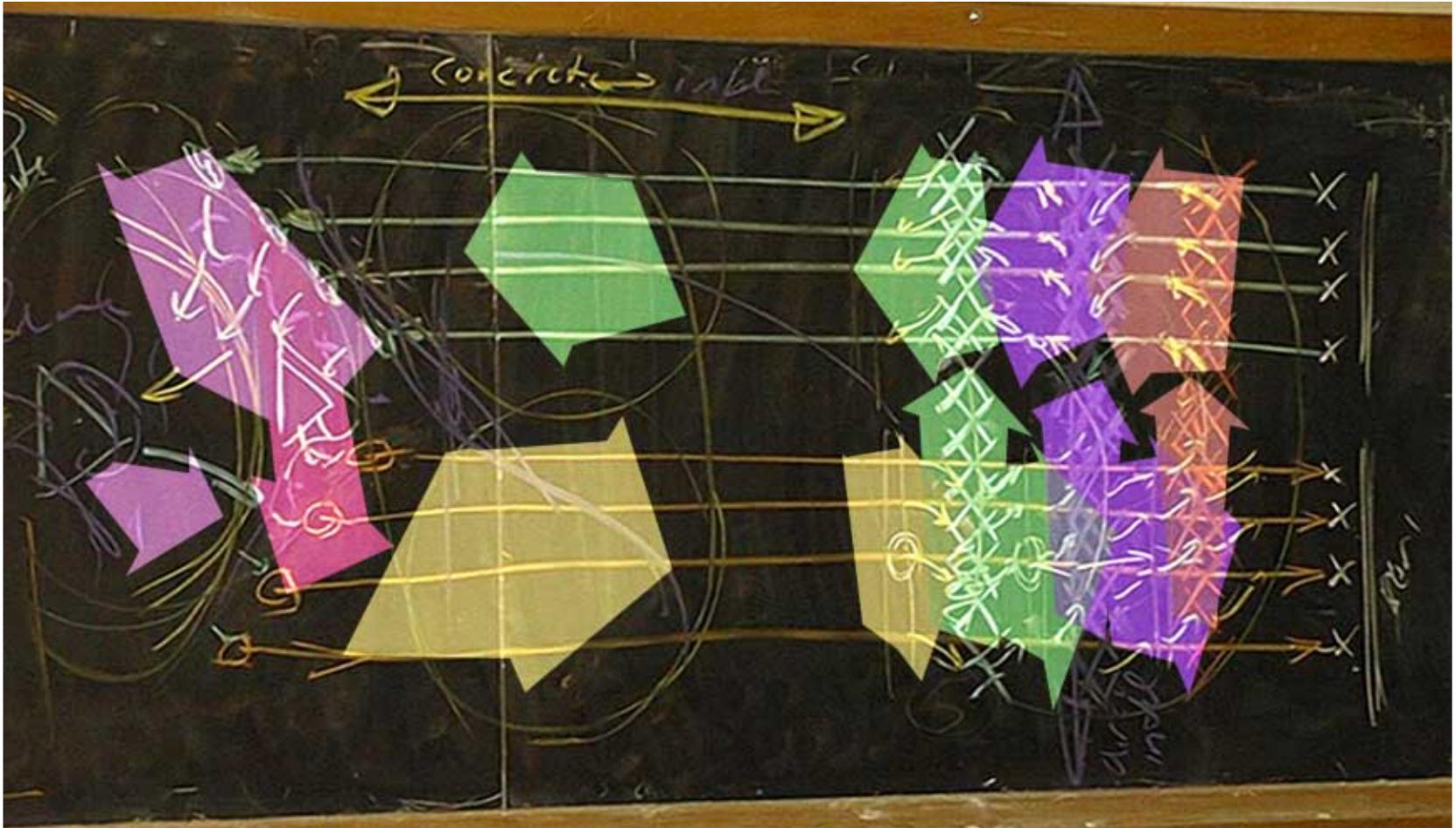
**320 Quanto è difficile bere un cocktail martini!** La lavagna descrive a sinistra la meccanica del movimento (e le reti interessate) con il quale si porta alla bocca un bicchiere pieno di liquido e, a destra, la scena esterna ricostruita, dinamicamente in tempo reale, dalle reti interne. In questa circostanza viene interessata tutta la macchina cibernetica; il continuo riflesso reciproco tra specchio esterno e specchio interno guida il flusso dei quanti all'interno delle reti.

in particolare, con la concezione interattiva di campo, cavallo di battaglia della psicologia della *Gestalt*, che sembrava tramontata. Una situazione di questo genere si può concettualizzare in termini di connessioni laterali della corteccia visiva ma è immediatamente trasferibile al sistema nervoso centrale in generale. I modelli connessionistici a parallelismo massimo consentono a far uscire dal vago le nozioni proprie della *Gestalt* quali i principi di minimo o di massima economia, ma soprattutto tendono a risolvere la controversia tra modelli processuali e modelli computazionali, poiché è il concetto stesso di "calcolo" che viene a modificarsi. Quest'ultimo infatti viene a essere percepito come una versione formalizzata di due linee di pensiero tradizionalmente distinte. La prima è nello spirito delle idee qualitative delle funzioni del cervello introdotte da Koehler e dai suoi collaboratori (per esempio *L'intelligenza delle scimmie antropoidi*, Giunti 1968). La seconda appare come un moderno discendente dell'approccio connessionistico proposto da Hebb (*L'organizzazione del comportamento*, Franco Angeli 1975). In questo modo, le teorie di campo trovano un nuovo e più potente impulso nell'ambito del modello connessionistico.

*e di sfericità  
specchi  
uno nell'altro  
d'eco a giocare  
scene ed azioni*

**8.4 Neuroscienze e Darwinismo neurale.** In tempi recenti John Eccles e Gerald Edelman hanno formulato una tesi ben precisa nell'ambito degli studi sulla mente. Essa prende il nome di Darwinismo neurale o neuronale e sostiene che la cellula nervosa e il sistema nervoso centrale si evolvono indefinitamente in ragione degli stimoli ambientali che sempre più spesso l'uomo crea come esigenza del proprio sviluppo esistenziale. Si pensi in merito che il nostro cervello alla nascita consta di un numero più o meno fissato di neuroni: ognuno di essi, se opportunamente stimolato, può produrre un numero assai elevato di connessioni sinaptiche per realizzare un numero a sua volta quasi illimitato di assemblaggi neuronali, capaci di recepire e codificare nuove informazioni.

Come si vede, sostiene Edelman, la nostra specie, nata arboricola sotto le forme di proscimmie e lemuroidi, è divenuta terrestre (australopiteca) e



110 La serie "100", Vale a dire il ciclo della casualità circolare.

"Il ciclo della causalità circolare" fig:  
110; 100; 101; 102; 103; 104; 105; 106; 107; 108; 109

quindi ominoide, ominide, *homo habilis*, *homo erectus*, *homo faber*, *homo sapiens* e *homo sapiens-sapiens* ha appena cominciato a salire i primi gradini della conoscenza e, se si crede alle strette connessioni tra sistema nervoso centrale e sistema immunitario, della longevità.

*vita complessa  
che d'animale  
è giunta fino all'homo*

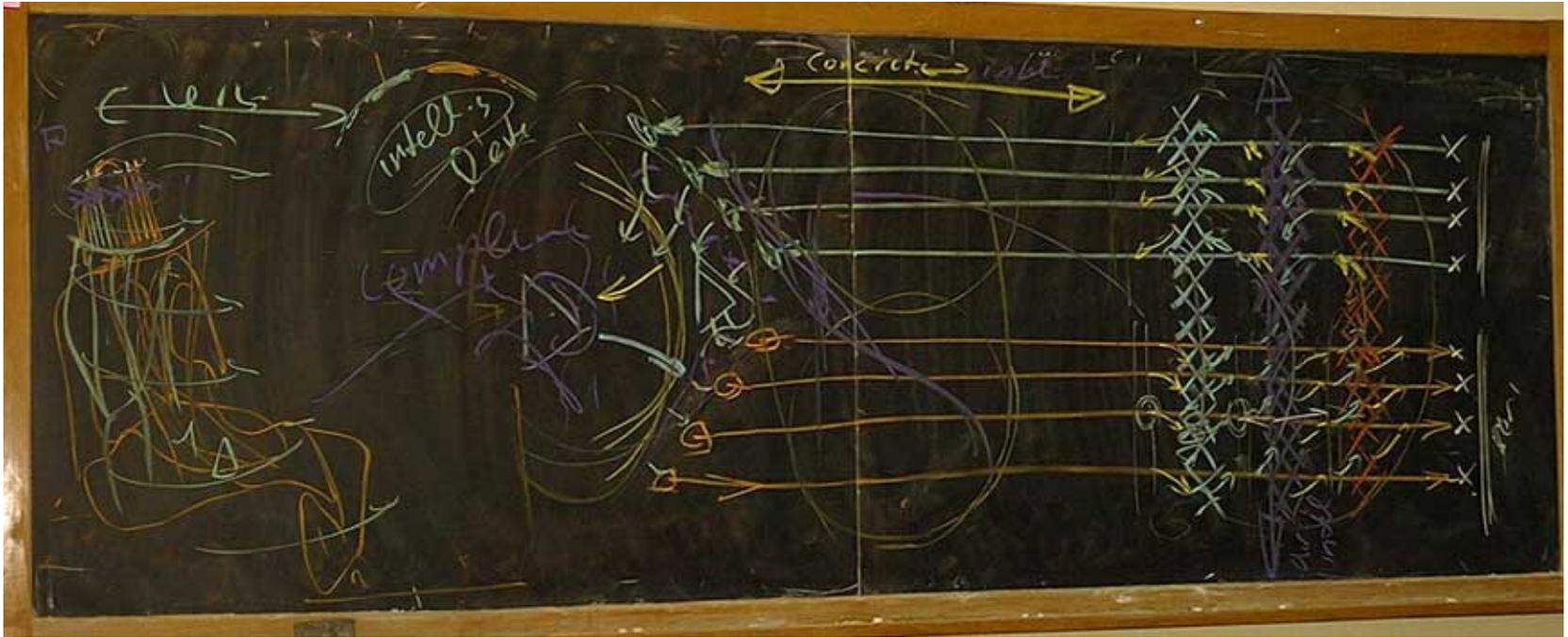
*macchina gratuita è l'homo  
che a tramandar di forma e di volume  
si fa da sola*

*reticolar cablato  
ch'eredità d'homo è l'equipaggio  
e fino a qui  
di sublimar di mente  
ora m'indosso*

**8.5 Eccitazione, sistema, risposta.** Per comprendere i significati che l'atto motorio può assumere, cercando contemporaneamente di scoprire i ruoli delle molteplici e complesse strutture anatomiche alle quali tali funzioni sono destinate, è necessario assumere un atteggiamento preliminare. Alle origini della psicologia del XX secolo, il vocabolo "connessionismo" voleva esprimere, secondo le intenzioni di Edward Thordike, il risultato di una associazione logica e funzionale non tra idee ma tra situazioni esterne e reazioni fisiologiche.

*e di cucir le simiglianze  
che fuori e dentro la mia pelle  
s'intreccia punto per punto*

Nel 1931, Thordike scrisse che "l'apprendimento significa mettere in connessione. La mente è il sistema di connessione dell'uomo". Oggi, il significato di questa definizione operativa è leggermente mutato ma continua a includere la definizione originale. Il quanto di informazione che accede al ramo di entrata, dopo avere percorso tanti altri rami di circuitazione interna, esce



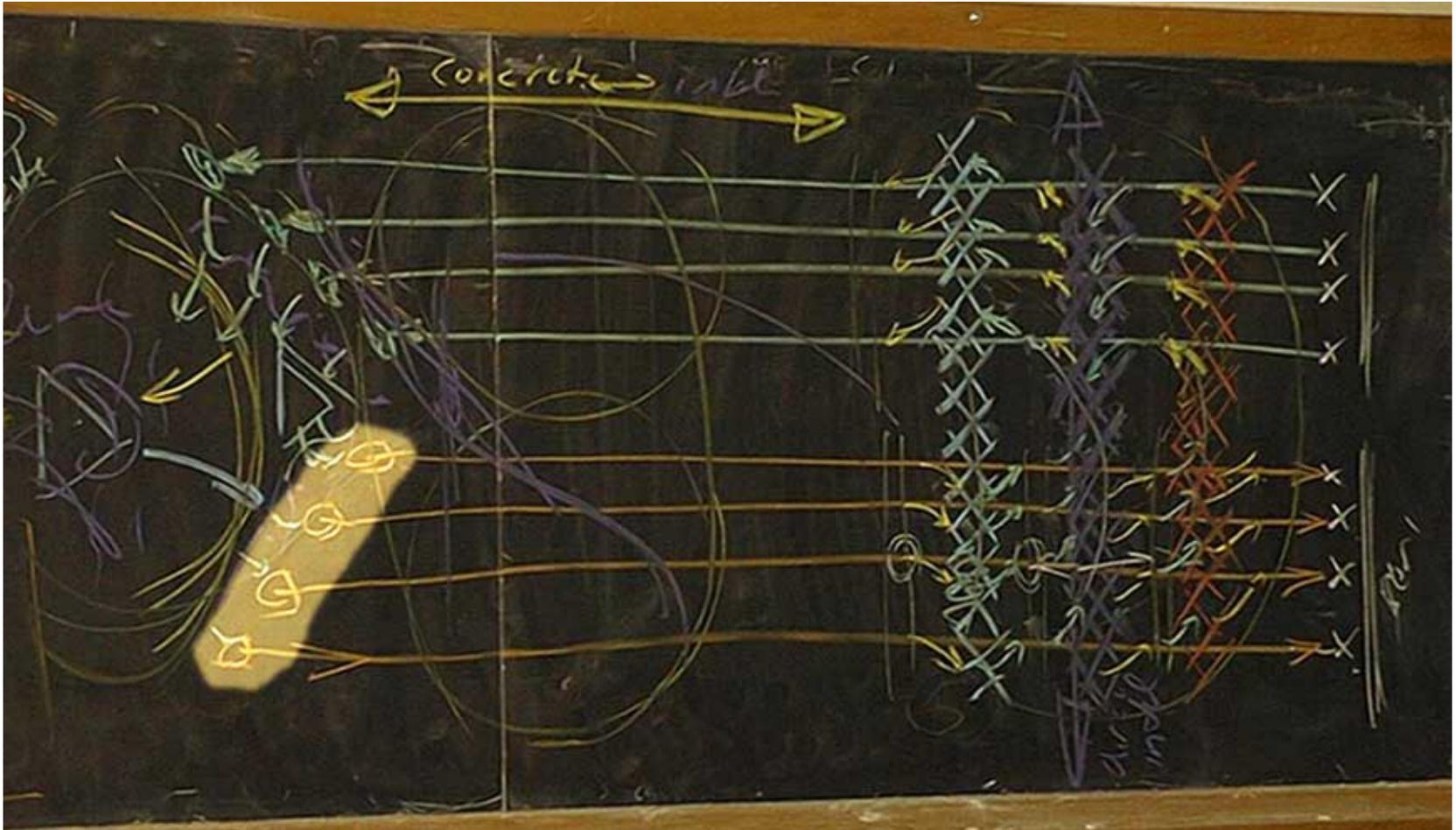
**100 L'ultima serie di lavagne riassume l'intera presentazione.** È il gran finale con la sfilata di tutti i protagonisti. I sensori affacciati all'ambiente esterno, gli elementi dinamici, vari strati di reti. Si noti che gli elementi dinamici costituiscono un'estensione concettuale e operativa, nello stretto ambito delle discipline cibernetiche, e della tradizionale concezione di attuatore o effettore.

dal ramo di uscita sotto forma di movimento. A tutti gli effetti, è il movimento a qualificare la natura dell'informazione ricevuta dall'ambiente esterno. In altre parole, e ricorrendo a termini già introdotti in precedenza, è la risposta che spiega la natura dell'eccitazione, se il sistema è conosciuto; oppure è la risposta che spiega la natura del sistema, se l'eccitazione è di natura nota. Fermiamoci per un attimo alla seconda situazione: quella che per semplicità può essere definita la ricerca dell'identikit del cervello. A molti studiosi non è gradito l'approccio sistemico, lo trovano freddo, impersonale, disumanizzato. Assimilare la mente dell'uomo a un modello cibernetico sembra un insulto, una imperdonabile offesa, una forma di laicismo anti-romantico al di là di ogni sensibilità sociale e civile. Per esempio, questi nostalgici del cervello "umano" reagiscono indignati e profondamente offesi alle dichiarazioni di David Hubel, premio Nobel 1981 (con Torsten Weisel e Raymond Sperry) per studi sul sistema visivo, una autentica rivoluzione nella neurofisiologia contemporanea, al momento cruciale, quando deve sintetizzare che cosa sia il cervello umano. Hubel sostiene che "ci sono neuroni in entrata e neuroni in uscita: in mezzo una zona verginalmente bianca con tutte le altre funzioni". E precisa ancora: "c'è un segnale in uscita: l'unico modo in cui l'uomo risponde al mondo esterno e influisce su di esso. E tra il segnale di ingresso e il segnale di uscita, c'è il resto: percezione, emozione, memoria, pensiero e tutto ciò che rende l'uomo umano".

*e di trovar davanti tutte le mosse  
che d'attimi  
tra dentro e fuori e dentro  
nel corpo mio  
trovo navetta*

*che circolarità congiunge  
tra fuori e dentro e fuori  
la percorrenza*

*storia d'antico scorre  
e a rimbalzar tra dentro e fuori e dentro  
d'andar del sentimento  
avverto la conferma  
oppure la smentita*



**101 Luci della ribalta sui sensori.** L'indizio dinamico, ovvero l'arrivo sui sensori di un fronte energetico proveniente dall'ambiente, provoca la generazione di un treno di impulsi (quanti) di ampiezza e durata uguali per tutti indipendentemente dalla natura e specificità degli stimoli esterni.

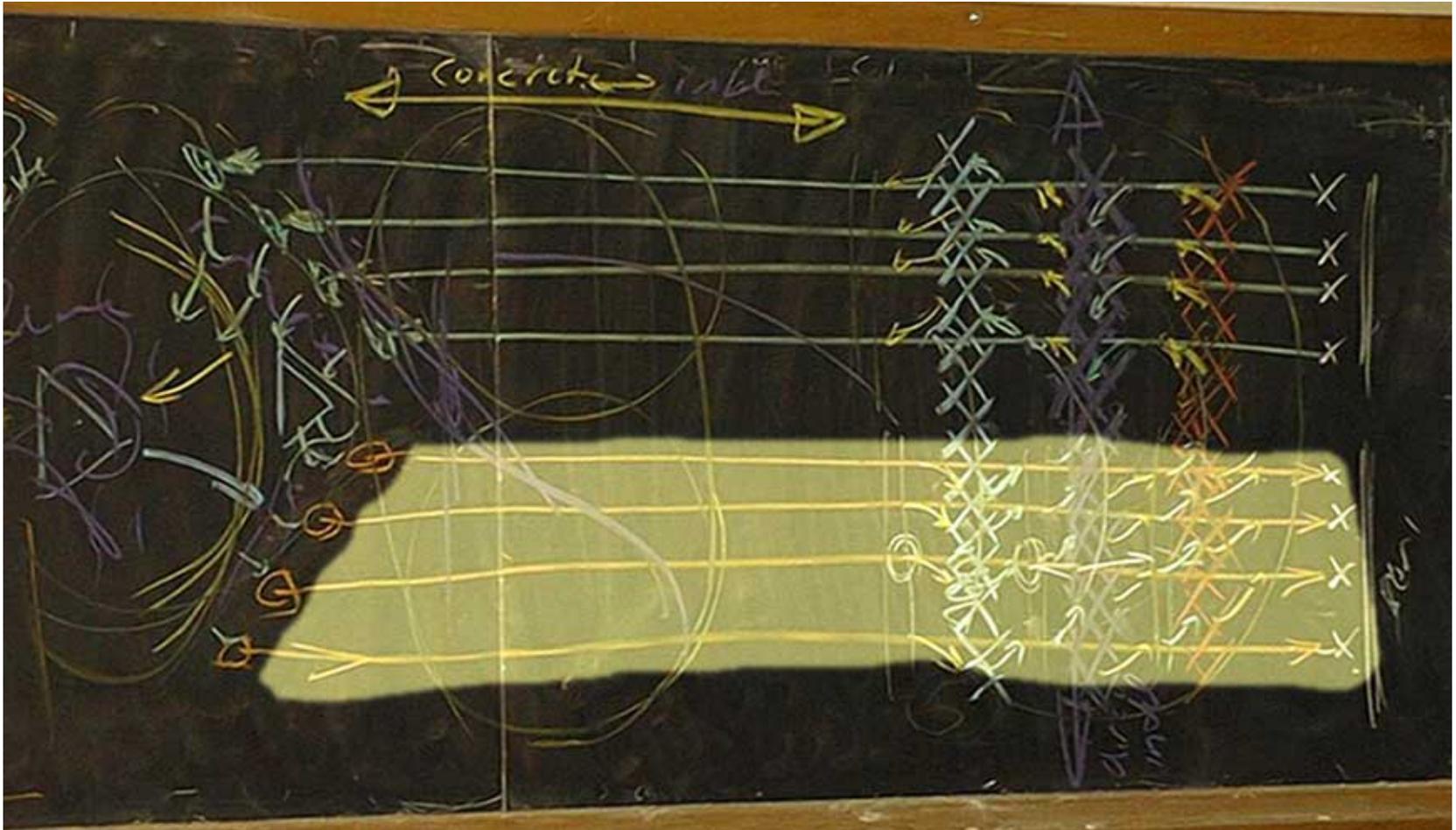
Essi sostengono che nell'uomo non vi è soltanto la macchina o l'apparato, ma esistono altri molteplici complessi funzionali che, superando il compito di stabilire le connessioni tra entrata e uscita con l'ambiente esterno, hanno una relazione continua con il sistema dei bisogni e degli affetti, che esprime il vissuto personale di ognuno. Ogni segnale in arrivo, passando attraverso diversi livelli di integrazione, di interpretazione, di utilizzazione, arriva a risposte di natura profondamente diverse a seconda della propria storia esistenziale, necessariamente diversa da persona a persona. Francamente, la disputa tra apocalittici cibernetici e romantici spiritualistici appare soltanto un vuoto gioco di parole.

**8.6 Le basi neuropsicologiche del movimento.** A partire dal primo periodo di vita extra-uterina, la relazione di causa effetto tra processi afferenti (ingresso di quanti di informazione) e processi efferenti (uscita di contrazioni muscolari semplici oppure di azioni motorie più complesse) è in costante e continua differenziazione, secondo schemi psicomotori di sviluppo progressivamente più complessi e articolati. Per pervenire al gesto efficace ed espressivo, sono necessari: (i) una maturazione anatomica-funzionale della struttura; (ii) l'adempimento del compito di causare e facilitare la maturazione motoria dell'individuo; (iii) la perseveranza di un apprendimento continuo quale strumento fondamentale per i conseguimenti dei punti (i) e (ii).

*che quando allora  
di sedimento  
tabula rasa  
di sfocatura  
a me  
faceva soltanto l'ombra*

*ma quanto adesso  
sedimentato è molto  
e delle scene e delle lotte d'esse  
risoluzione s'accresciuta*

**8.7 La dinamica del calcolo neuronale.** Il titolo dell'articolo è "Neurons, Dynamics and Computation", l'autore John J. Hopfield, professore di Chi-

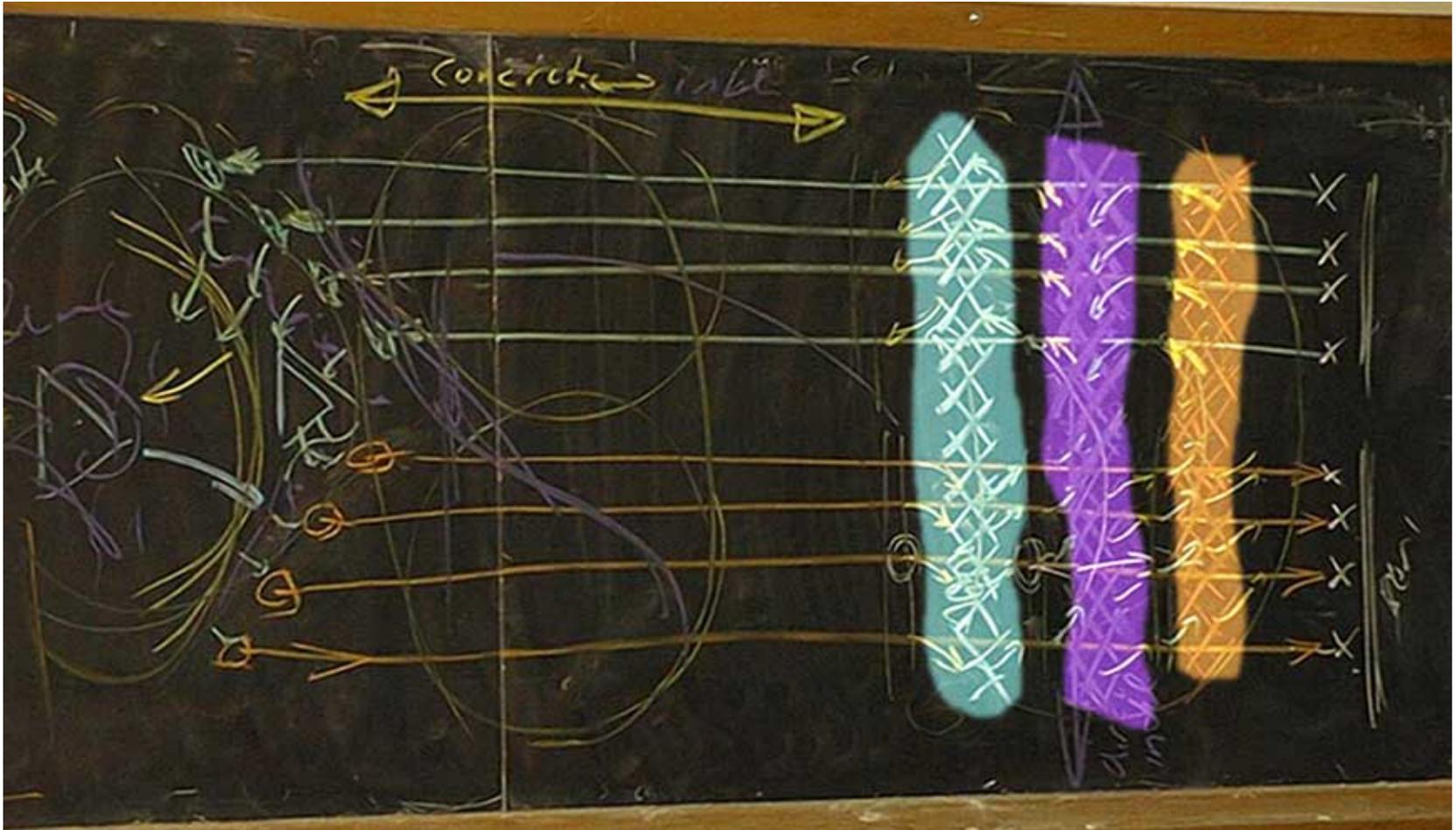


**102 Propagazione dei quanti all'interno dei canali di ingresso della macchina.** I quanti generati dai sensori viaggiano lungo i cavi di collegamento tra le zone periferiche e le zone interne della macchina.

mica e Biologia del California Institute of Technology, la rivista è un numero monografico del febbraio 1994 di "Physics Today", organo ufficiale dell'American Institute of Physics, dedicato all'argomento congiunto "Physics and Biology". È opportuno ricordare come Hopfield sia a tutti noto come il padre scientifico del connessionismo, grazie alla pubblicazione dell'articolo *Neural networks and physical systems with emerging collective computational abilities* sui Proceedings della NAS nel 1982. I sottotitoli riassumono la tesi di Hopfield: "il cervello è stato per lungo tempo assimilato a un *computer* biologico" e "ma in qual modo questi assemblaggi di neuroni realizzano prestazioni di *calcolo*?". Ecco una breve sintesi dell'articolo. Spesso nella ricerca della risposta alla domanda "come funziona?" si nasconde la motivazione e la dedizione professionale di molti fisici. La fisica dello stato solido, la chimica fisica e la fisica nucleare possono essere tutte pensate come descrizioni delle relazioni che intercorrono tra la struttura e le proprietà della materia. I componenti di un sistema biologico possiedono proprietà funzionali che risultano particolarmente rilevanti ai fini operativi del sistema. In tal modo risulta di grande stimolo in biologia comprendere la relazione tra struttura e funzione.

Tale approfondimento può essere perseguito a diversi livelli: molecolare, cellulare, organico, oppure come organismo o gruppo sociale. La funzione di un sistema nervoso è quella di "calcolare". Riconoscere un amico, camminare e comprendere un messaggio verbale coinvolgono problemi di calcolo. L'analisi del sistema nervoso, presentata in questo articolo, cerca le correlazioni che intercorrono tra la biofisica delle cellule nervose, la fisica statistica e la dinamica dei sistemi e le procedure di calcolo di una "macchina" biologica.

Hopfield sostiene di usare la parola "calcolo" non nella accezione tradizionale della matematica ma in quella leggermente modificata della *fuzzy logic*, nel senso di apprestarsi a fornire una risposta non necessariamente quantitativa e comunque in grado di essere ancora fornita da un elaboratore numerico. Per esempio, si può programmare quest'ultimo a confrontare l'immagine presente e reale di un ragazza con un insieme di immagini provenienti da una banca tridimensionale di dati relativi alle proprie conoscenze in un passato prossimo o remoto. In tal modo, in linea di principio, si può risolvere attraverso il "calcolo" il problema del riconoscimento o meno di una ragazza appena incontrata.



**103 I quanti incontrano le reti e le invadono.** Le reti sono costituite da connessioni di canali, producendo quindi un insieme di percorsi differenziati. Il fronte in uscita risulta quindi modificato rispetto al fronte in ingresso. Tuttavia esiste una corrispondenza biunivoca tra ingresso e uscita: nel senso che a una sequenza di entrata corrisponde una e una sola sequenza di uscita.

*e quel che fuori  
d'attraversar la pelle  
nella mia mente  
forma si prende  
e d'ologramma vivo l'intorno  
che a coincidenza  
tra dentro e fuori  
d'equilibrar le scene ed anche le storie*

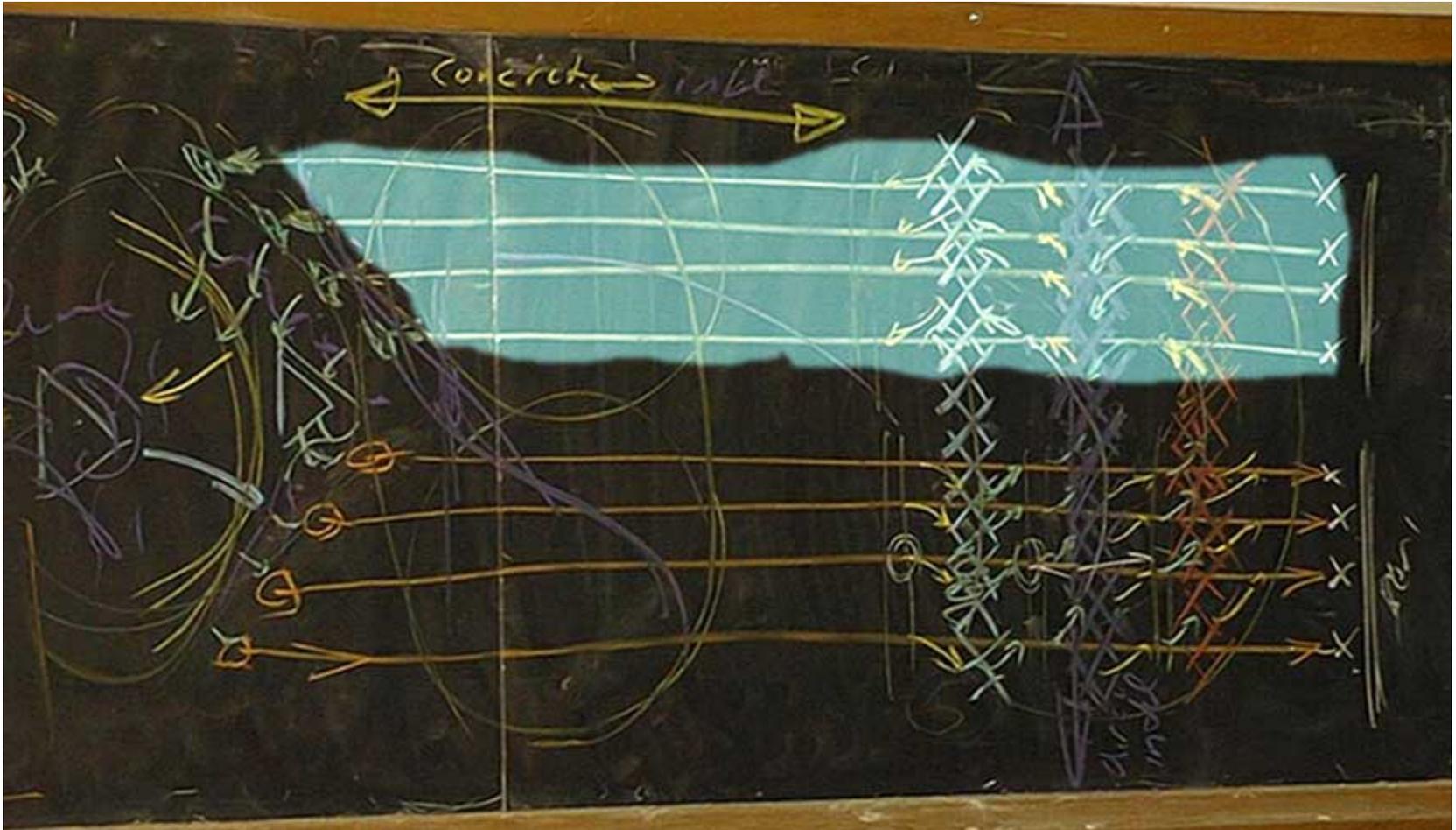
*che poi  
a copiar concreto  
passo per passo  
a coincidenza  
posso anche avvenire*

*che di disegno  
faccio fantasma  
e a sovrapporre  
a coincidenza vado*

In maniera del tutto simile, la questione di come pilotare gli attuatori di un *robot* data una condizione iniziale di postura del *robot* stesso e la sua successiva posizione di equilibrio dinamico costituisce sostanzialmente un problema di meccanica classica che può essere risolto attraverso un elaboratore numerico.

Un momento di riflessione appare opportuno. È necessario infatti notare come, mentre non sappiamo come scrivere algoritmi efficaci per rispondere ai due interrogativi sopra menzionati, gli esempi forniti illustrano in maniera convincente che cosa è capace di svolgere il sistema nervoso in tema di "calcolo". Tuttavia, il fatto di usare l'elaboratore numerico per modellare le uscite di esperimenti realizzati dal sistema nervoso **non** implica *ipso facto* che il cervello sia un *computer*, dato che gli elaboratori possono essere abilmente adattati a modellare la maggior parte dei sistemi fisici.

**8.8 La mente come dispositivo di entrata-uscita.** Nell'ambito degli scopi perseguiti in questo articolo, consideriamo il computer (e, da qui in



**104 Propagazione dei quanti all'interno dei canali di uscita della macchina.** I quanti provenienti dalle reti viaggiano lungo i cavi di collegamento tra le zone interne e le zone periferiche della macchina.

poi, anche la mente) come un sistema di *input-output*, con i relativi segnali di ingresso e uscita dotati del medesimo formato e appartenenti allo stesso genere. In un elaboratore numerico assai semplice, l'ingresso è costituito da un treno temporale di impulsi e l'uscita è costituita da un altro treno temporale di impulsi.

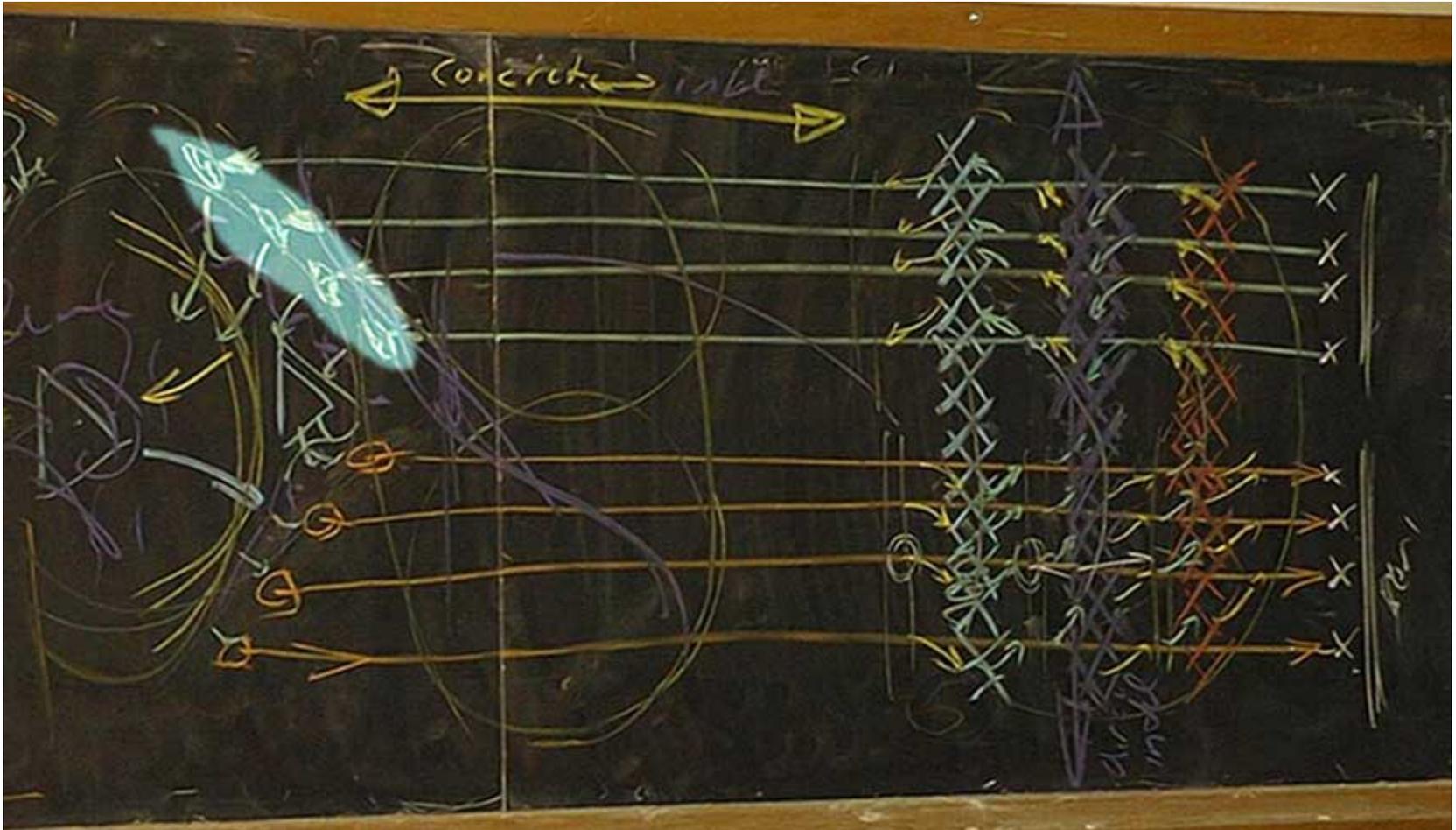
L'elaboratore produce una trasformazione dei dati in ingresso per generare i dati in uscita. Esempi? Un milione di assoni indirizzano impulsi elettrochimici dagli occhi al cervello. Altri segnali di simile natura comandano i muscoli delle corde vocali. Quando entriamo in ufficio, ci guardiamo intorno e diciamo "Hello Jessica", il nostro cervello sta producendo una trasformazione assai complicata da una sequenza di impulsi paralleli di ingresso attraverso gli organi della vista a un'altra sequenza di impulsi paralleli di uscita che induce la generazione di una serie di onde acustiche emessa dalle nostre corde vocali.

*che d'avvertir mi trovo  
quanto da dentro e quanto da fuori  
ad incontrar la pelle mia  
scontra o coincide*

*e a sovrapporre a intorno  
d'immaginato corro su ambiente  
che a coincidenza  
movo le braccia*

*e di guidare l'ambiente fuori  
nasce tendenza  
che a riportar d'uguale a quanto dentro  
sia fatta coincidenza*

Se quindi il cervello è un dispositivo di entrata-uscita, anche un *chipelettronico* costituisce un dispositivo di analoga natura. In perfetta analogia, ogni neurone del cervello umano è assimilabile a un veicolo di trasformazione e trasporto analogo ai precedenti. Ciascun microcosmo sottostante costituisce quindi il mattone elementare per costruire il macromondo sovrastante. Ecco perché possiamo pensare al cervello come ad un aggregato di neuroni.



**105** *Gli elementi dinamici sotto i fari.* Gli elementi dinamici sono in realtà trasduttori che trasformano quanti di energia in deformazione plastica (in questa specifica funzione ricordano da lontano gli attuatori) ma realizzano anche la lettura della deformazione avvenuta, attraverso l'azione di un sensore associato.

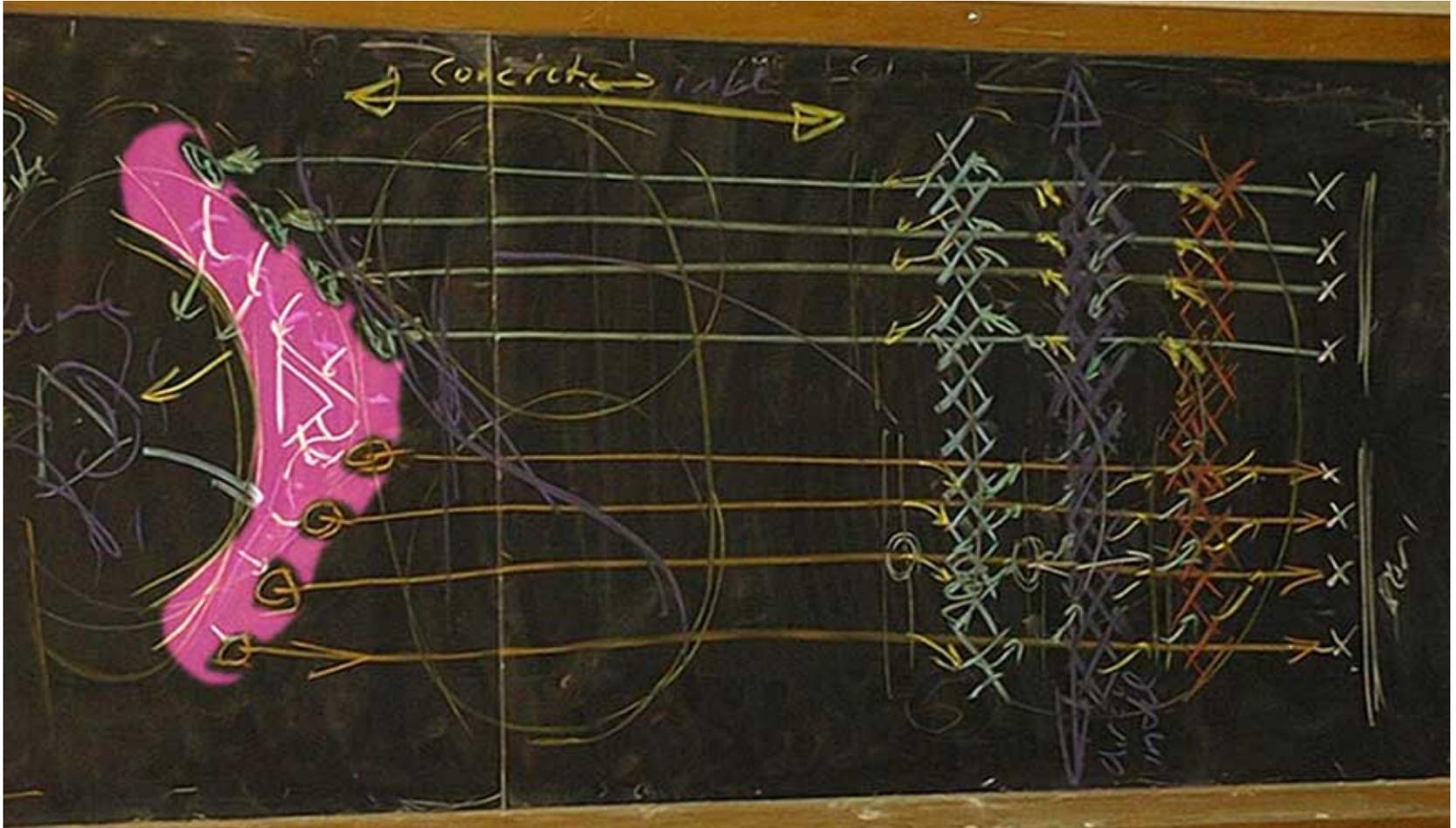
*che di substrato gli spessori  
reticolar giorno per giorno s'è fatto*

**8.9 La mente come sistema dinamico.** Un elaboratore numerico reale costituisce un sistema dinamico ed effettua calcoli seguendo un ben definito percorso nello spazio dei suoi stati fisici. Il suo *modus operandi* può venire illustrato nella modalità più semplice di calcolo, quella in cui tutti i dati di ingresso sono forniti prima dell'inizio delle operazioni di calcolo (modalità *batch*). Supponiamo ora che l'elaboratore sia dotato di  $N$  registri di immagazzinamento, ciascuno dei quali memorizza una singola cifra binaria.

Un vettore binario costituito da  $N$  bit, come per esempio 10010110000..., specifica lo stato logico della macchina a un particolare istante. Al termine di ogni ciclo dell'orologio generale di comando delle operazioni, il descritto stato binario cambia trasformandosi in uno stato evolutivo successivo. La mappa delle transizioni che descrive la sequenza dall'istante iniziale fino a un generico istante  $t$  è implicitamente contenuta nella macchina ed è costruita secondo le specifiche di progetto. In tal modo si può descrivere la macchina come un sistema dinamico che muta il suo stato discreto a intervalli discreti di tempo. L'utente della macchina non ha alcun controllo sulla dinamica evolutiva, la quale viene determinata dalla mappa delle transizioni di stato.

Il programma e i dati dell'utente, con l'aggiunta di un'opportuna procedura standard di inizializzazione, prescrivono la condizione iniziale del sistema. La variabilità del sistema dinamico in studio porta avanti il programma di calcolo. In un calcolo secondo modalità *batch* come quello descritto all'inizio del paragrafo, la risposta della macchina ai dati di ingresso, vale a dire il risultato del calcolo, viene trovata quando si incontra un punto stabile del sistema dinamico discreto. Esso può essere definito come il raggiungimento di uno stato per il quale non esistono ulteriori transizioni. Particolari sottoinsiemi dei bit di stato, per esempio i contenuti di alcuni insiemi di registri della macchina, possono fornire risposte ai quesiti posti dal calcolo.

*di scena dentro a ricoprir sé stessa fuori  
che d'essere uguali  
ambiente s'avveniva*



**106 Attivazione del sistema propriocettivo.** Come anticipato in precedenza, la deformazione plastica produce l'attivazione del sensore associato, il quale genera un nuovo treno di quanti che inizia il suo viaggio verso l'interno.

Procedure analogiche, sempre secondo modalità *batch*, possono essere descritte in maniera analoga adottando modelli, variabili di stato e tempi continui. L'idea del calcolo di un processo relativo all'evoluzione di un sistema dinamico che si muove da uno stato iniziale a uno stato finale è assolutamente identica a quella già espressa nel caso di un processo discreto.

**8.10 Un semplice sistema dinamico di neurobiologia.** L'anatomia di un neurone tipico di un cervello di mammifero presenta, approssimativamente, tre regioni: dendriti, un corpo cellulare e un assone. Ogni neurone è connesso, approssimativamente, a 1000 altri neuroni attraverso strutture chiamate sinapsi. Una cellula nervosa funziona come un dispositivo di ingresso-uscita. Gli ingressi a una cellula sono costituiti dalle sinapsi sui dendriti e sul corpo cellulare. La cellula produce uscite che pilotano altre cellule situate sulle sinapsi ai terminali del suo assone.

*di ritrovar figura  
tutto il montaggio  
che di passar per l'atri pezzi  
colla a connesso*

*che a seguitar la connessione  
la biologia regge la vita*