

416 Inibizione delle membrane periferiche e intermedie.

## 7. MODELLI E SISTEMI

7.1 Il concetto di sistema

7.2 Utilità della schematizzazione

7.3 Meriti e limiti del modello matematico

7.4 Il ruolo dei modelli matematici

7.5 Modelli matematici di sistemi fisici

7.6 La modellazione matematica è un problema diretto o inverso?

7.7 Scatole nere, oscure, grigie, bianche

7.8 Paradigmi della tradizione, paradigmi dell'innovazione

7.9 Tre modelli di cervello in successione storica

7.10 L'ologramma e le sue conseguenze

7.11 Brevi cenni e principi di neuroscienze

**7.1 Il concetto di sistema.** Oscar Wilde (1854-1900), colto e spregiudicato scrittore inglese, che scandalizza e commuove allo stesso tempo, amava siglare parossismi. A proposito degli anglosassoni europei e di quelli oltre Atlantico, Wilde sosteneva che le due popolazioni non avevano nulla in comune, eccezione fatta per la lingua. E per sostenere questa sua tesi, pubblicò un dizionario di poche centinaia di vocaboli in cui la medesima parola aveva significati totalmente diversi nei due paesi. Per esempio, quando il termine *bomb* viene adottato da un critico teatrale in occasione di una prima a Broadway (New York, USA) oppure al Mayfair (Londra, Inghilterra), per gli americani intende un "grande successo" alla stregua di una interpretazione esplosiva degli attori e/o di una scrittura esemplare dell'autore, mentre per gli inglesi vuole intendere "un fallimento totale" quasi a connotare che le reazioni del pubblico sembravano quelle di un campo di battaglia con i due eserciti decimati dopo lo scontro decisivo.

*d'addendi messi in storia*

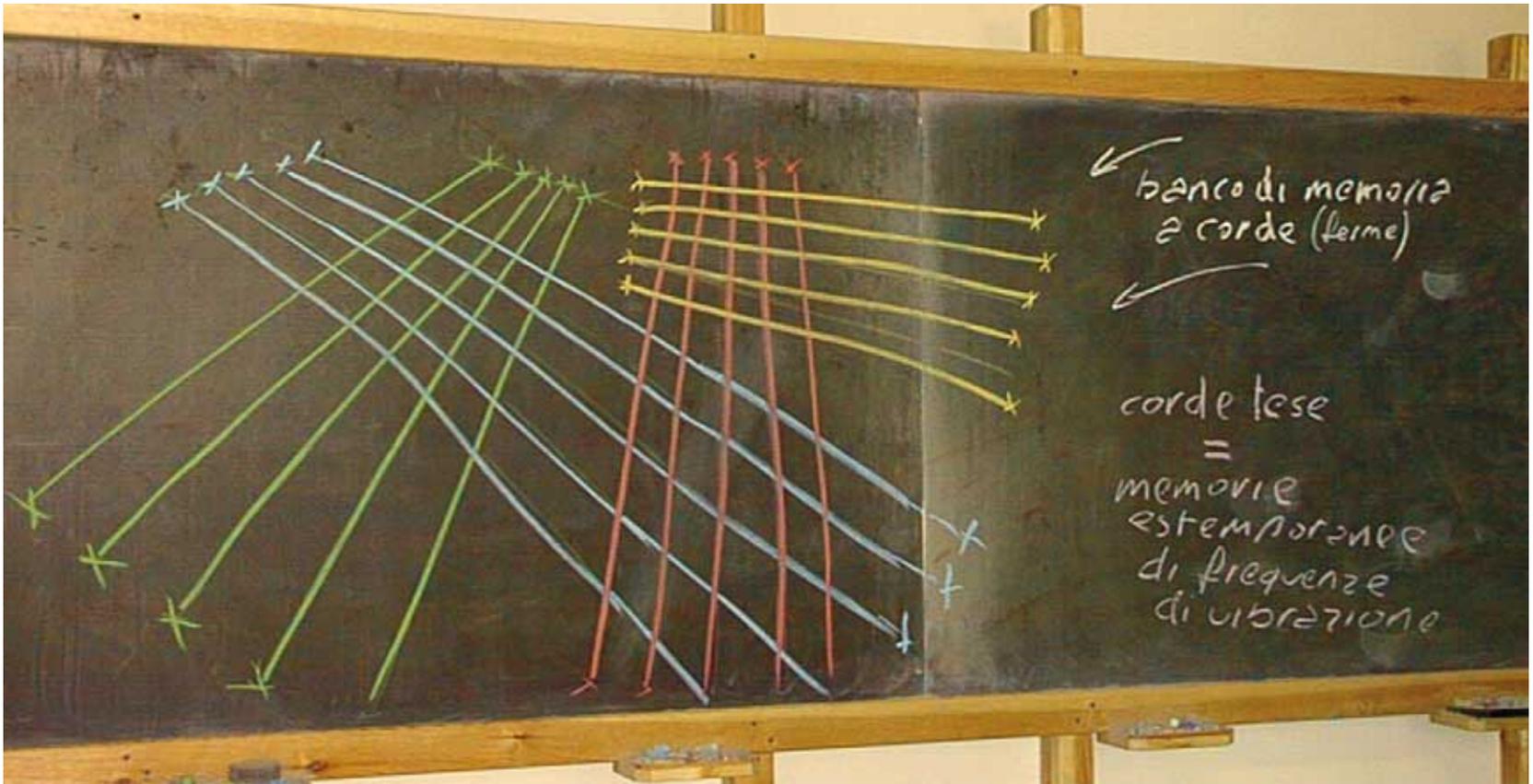
*gli stessi*

*di mille storie fanno richiamo*

Questa salace e parzialmente inspiegabile discrepanza ha luogo anche nella scienza: È il caso di una singola procedura di indagine che assume due denominazioni diverse: gli anglosassoni, per esempio Box & Jenkins e Makridakis, chiamano "system analysis" quello che gli americani, per esem-

The image shows a chalkboard with handwritten musical notation and diagrams. At the top left, a sequence of notes is written:  $f^1, f^2, f^3, f^4, f^5, f^6, f^7, f^8, f^9, f^{10}$ . Below this, a treble clef is drawn, and a series of notes are connected by a wavy line. To the right of the notes, the text "corde Vibranti" is written. Below the notes, the text "sequenza esten potenza di note reali" is written. In the center, the word "MIDI" is written above a piano roll diagram. The piano roll has a grid with columns labeled  $f^1, f^2, f^3, f^4, f^5, f^6, f^7, f^8, f^9, f^{10}$ . Colored blocks (red, blue, yellow) are placed on the grid. Below the piano roll, the text "registrazione con foglio che a rizza" is written. To the right, the word "DINERI" is written in large letters, with "(cittene)" written below it. Below "DINERI", the text "sequenza costante di quanti" is written. At the bottom, there are several rows of notes, some with circled numbers (1, 2, 3, 4, 5) above them.

**420 Neurofisiologia e musica.** Consideriamo quattro corde a riposo: esse vengono suonate in una sequenza temporale di vibrazioni adiacenti, nel senso che i suoni sono mutuamente esclusivi sull'asse dei tempi, ovvero la durata di ciascuna *nota* è finita. Si ottiene quindi una sequenza estemporanea di note reali, perché non esiste ancora nessun sistema di memorizzazione. Tale sequenza può essere codificata in un sistema MIDI, dove la vibrazione di ogni corda è indicata dalla presenza o meno del colore corrispondente, nella casella temporale. Si ottiene quindi una sequenza parallela costante di note nominali. La differenza sostanziale tra le note reali e quelle nominali è che le seconde hanno bisogno di un interprete per essere trasdotte in note reali. Entriamo ora nel modello cibernetico dei dimeri e notiamo immediatamente come esso si comporti in maniera del tutto equivalente a un sistema MIDI, producendo alla fine una sequenza parallela costante di quanti, anch'essi bisognosi di un interprete a valle.



**421 Memoria a corde.** Consideriamo un insieme costituito da quattro fasci di corde a riposo. Essi costituiscono un banco di memoria estemporanea di frequenza di vibrazione.

pio Brauer & Nohel e Karplus, definiscono "model formulation". Non è tutto. I secondi sostengono che "il modello è riproduzione di un sistema materiale allo scopo di studiarne empiricamente la natura, le leggi che lo governano e l'influenza delle singole variabili che lo caratterizzano nella sua intera complessità". E per concludere "perché il modello sia valido, esso deve essere fisicamente simile al sistema che riproduce. Ciò non significa che il modello debba essere una riproduzione in scala e così via". Allora i primi incalzano e ribattono che esistono sistemi "numerici" e sistemi "analogici". Certamente, esiste l'idea di fondo che i due schieramenti stiano esponendo elucubrazioni assai vicine. Una possibile sanatoria della controversa potrebbe essere nella definizione di sistema come "schematizzazione semplificata di una realtà più complessa e di modello come *modus operandi* della rappresentazione sistemica adottata". Quanto detto dovrebbe fornire sufficienti informazioni sul concetto di sistema (scusate, di modello) nonché su come scegliere un lavoro teatrale a New York o Londra dopo averne letta la recensione sul quotidiano di vostra fiducia.

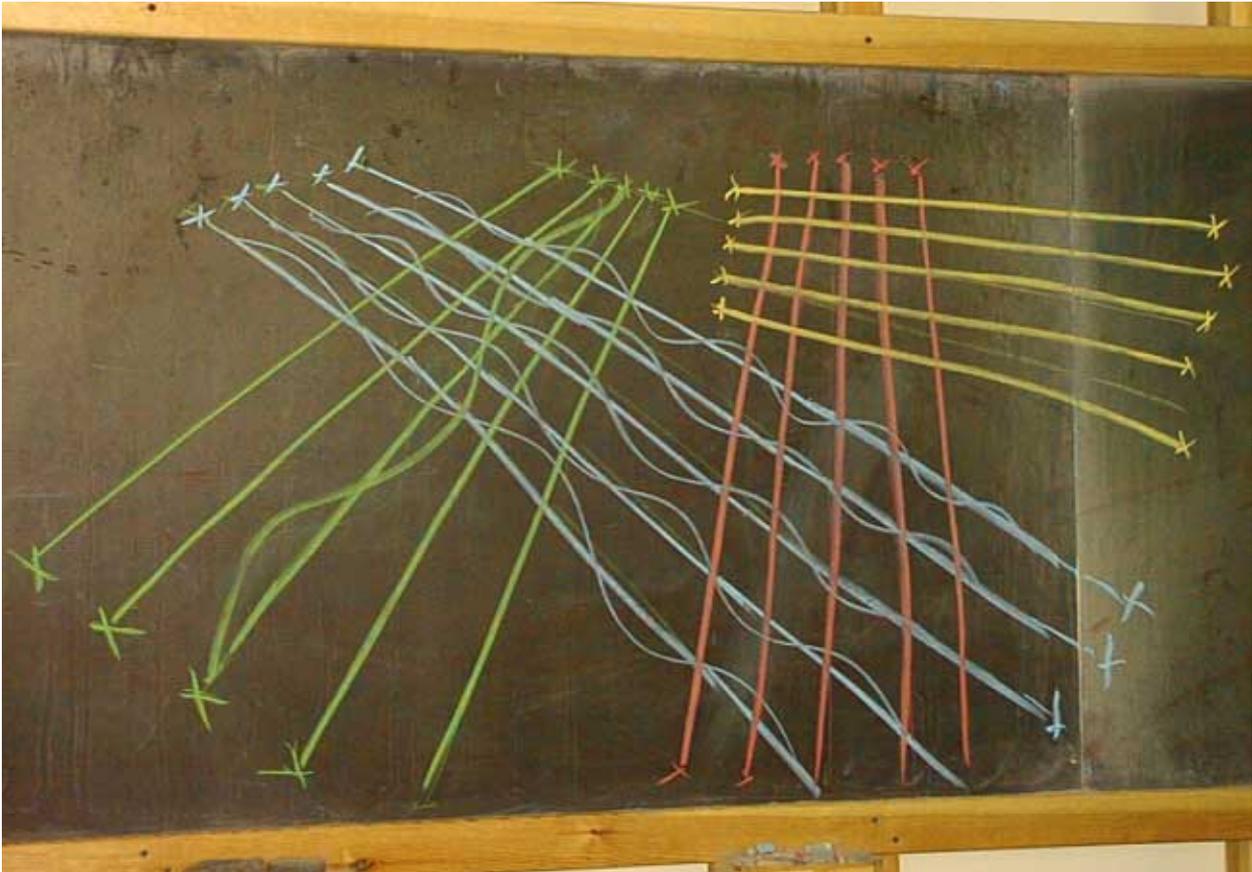
**7.2 Utilità della schematizzazione.** Quanto è stato espresso nel paragrafo precedente serviva per rompere il ghiaccio all'inizio di una trattazione che non avrà spazio per altri *divertissement* alla Oscar Wilde. Vediamo allora i fatti con maggior rigore. Che cosa è un modello?

*e a modellar mi presi le cose  
perch'esse  
d'attendere  
prospettar facessero*

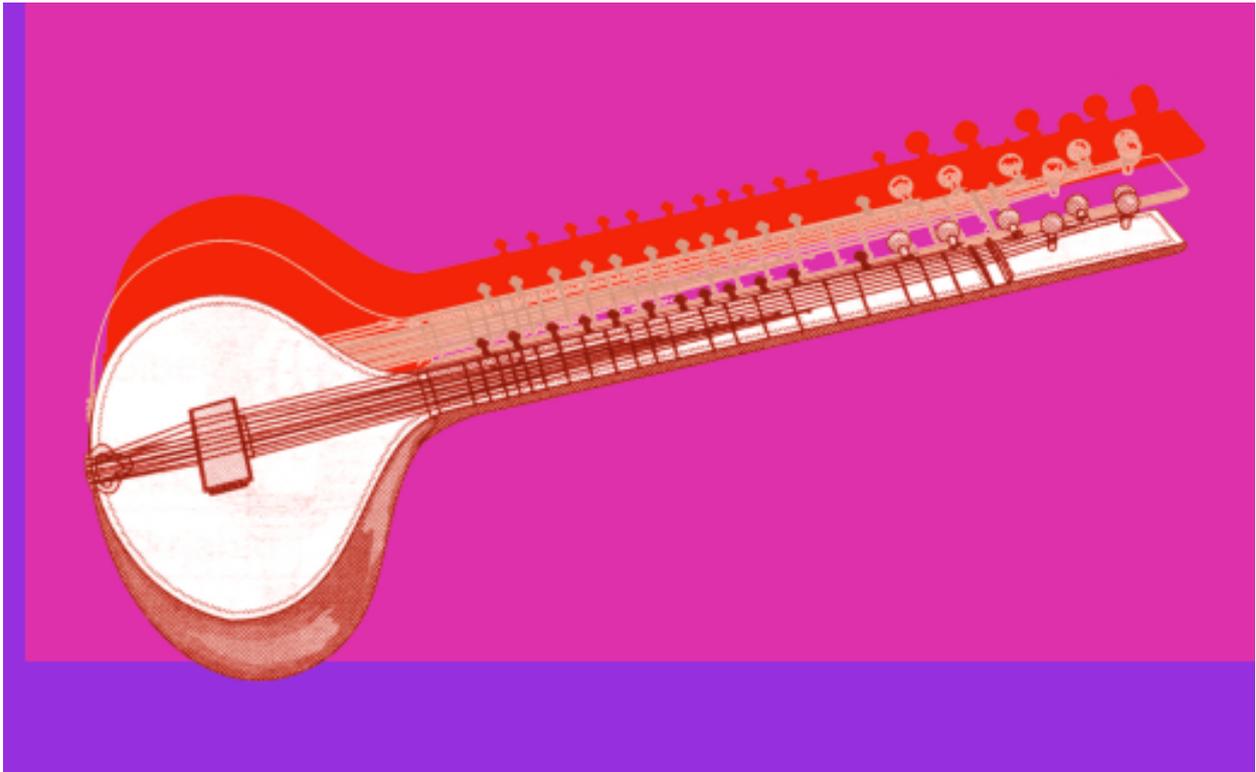
Quale è la sua utilità?

*di prospettar l'intera storia  
che quel che faccio adesso  
a modellar la scena  
parte ne faccio*

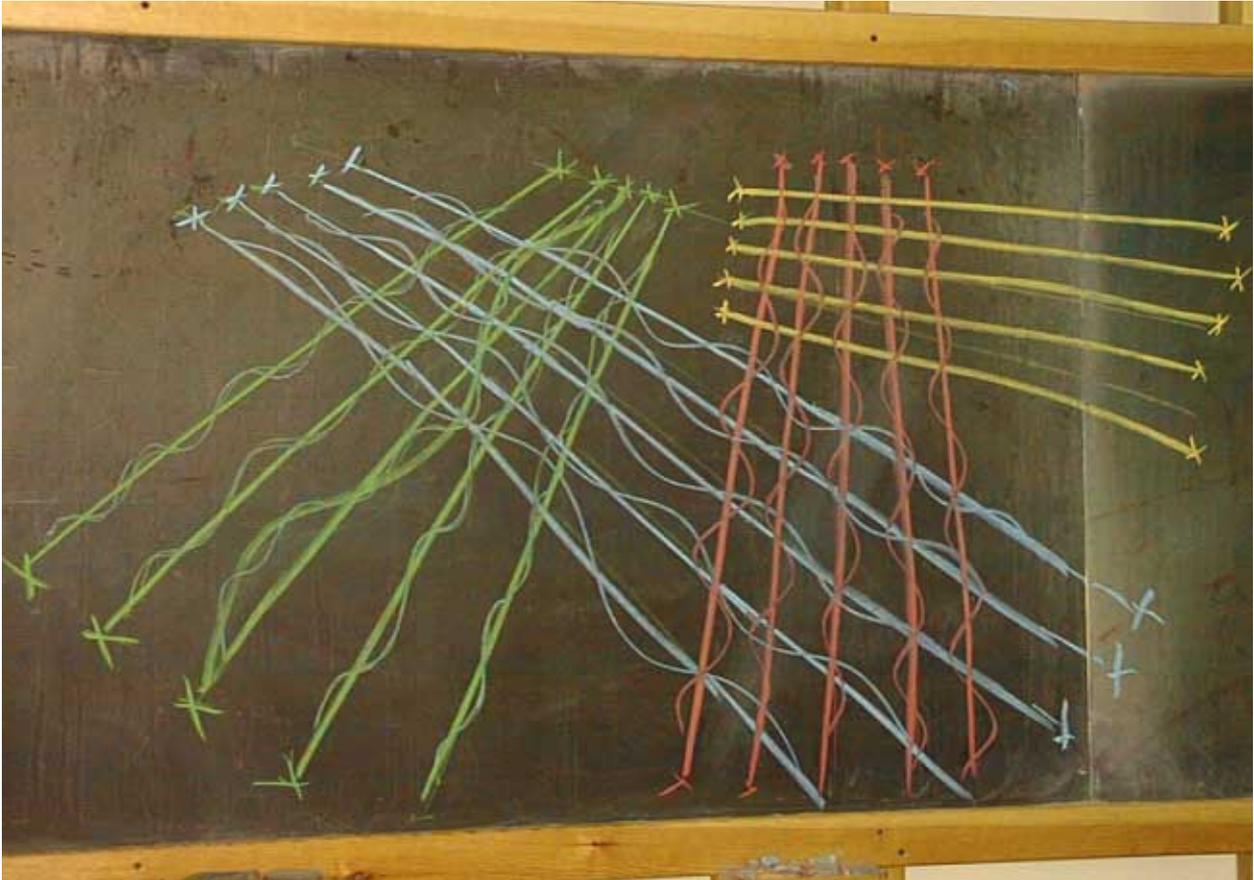
Una mappa autostradale, il plastico di un centro residenziale, una formula di chimica o di fisica, lo schema a blocchi di un elaboratore elettronico, la



**423 Innesco di vibrazione indotta.** Se ne facciamo vibrare una (ad esempio la terza corda verde), la vibrazione verrà trasmessa ad altre corde (quelle in celeste) per effetto di risonanza acustica.

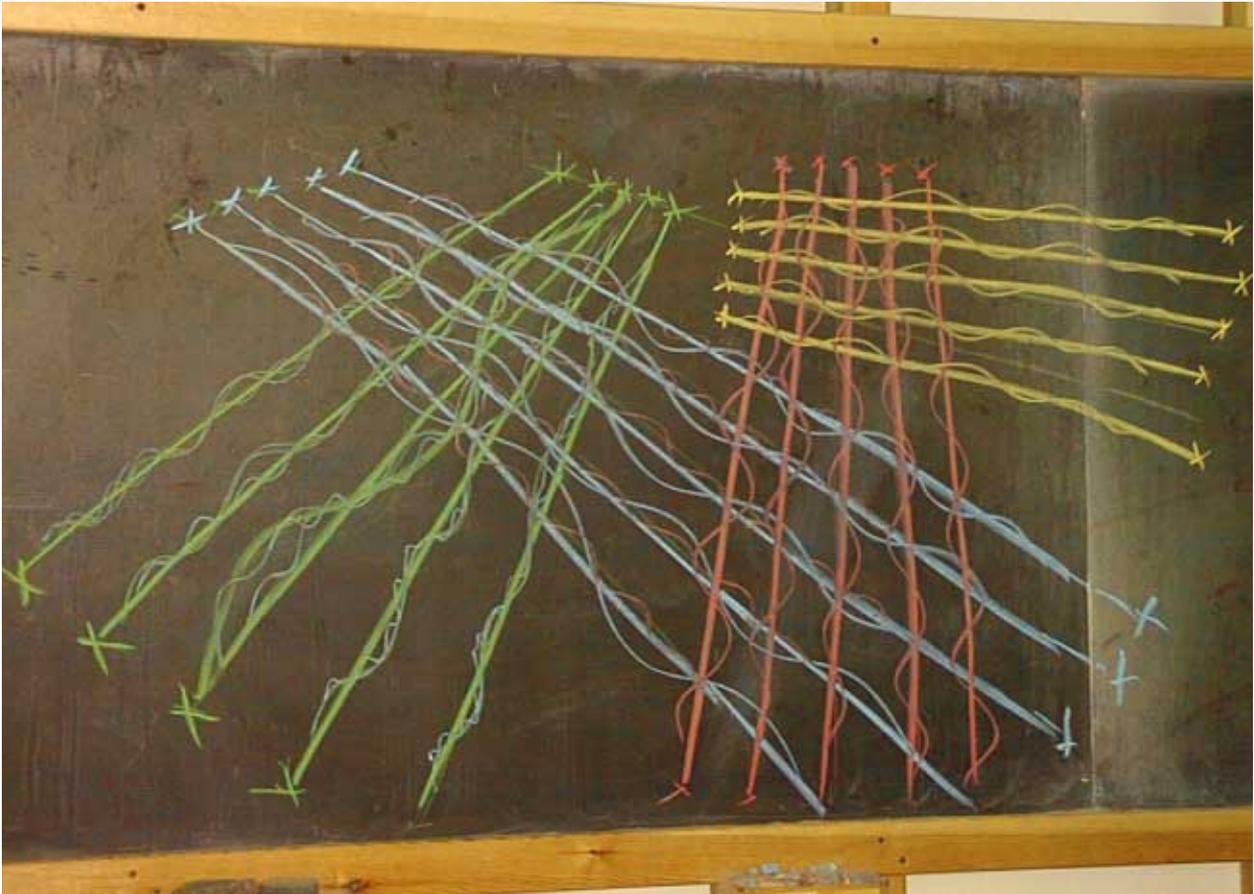


**Sitàr:** strumento musicale indiano di antichissima origine. Simile al liuto, è munito di due ordini di corde: il primo ordine è messo in vibrazione dalle dita del suonatore, il secondo, mai toccato dalle dita, entra in vibrazione per risonanza. Antiche leggende descrivono il parallelismo fra questo strumento musicale e l'anatomia del sistema nervoso umano.



**424 Innesco di vibrazione indotta.** La vibrazione delle corde celesti si comporta come innesco per i due fasci adiacenti: quello rosso e quello verde.

struttura cristallina del sale marino, il gioco del Monopoli, un istogramma di dati statistici sono altrettanti tipi di modelli. Essi riproducono soltanto alcune proprietà emergenti del sistema in studio o della situazione reale: quelle rilevanti, prioritarie, fondamentali. Il *primo* passo, e il più importante, per la costruzione di un modello è imparare a riconoscere queste proprietà, escludendo altri aspetti marginali. Il *secondo* passo è costituito dalla riproduzione delle caratteristiche essenziali del modello in una forma che renda possibile il confronto con la realtà osservata. Questa forma può essere una descrizione verbale o scritta, una torta grafica, un oggetto tridimensionale in scala, una relazione matematica. In questo ultimo caso, le grandezze numeriche che interessano risultano determinate da opportune equazioni, capaci di descrivere l'influenza delle condizioni, immaginate e sottoposte a esame critico, sulle grandezze stesse. Brauer & Nohel (*Ordinary Differential Equations*, Benjamin Inc., 1973) hanno espresso in modo chiaro e accattivante la relazione tra realtà fisica e modelli matematici. Ecco le loro parole: "La formulazione di modelli matematici per la risoluzione di problemi fisici viene spesso fraintesa. Proponiamo dunque la seguente procedura, che ci sembra logica e ragionevole, nella quale viene specificato, passo dopo passo, il livello di astrazione o di schematizzazione che viene introdotto per rendere il problema dotato di risoluzione accessibile. Partiamo da una situazione fisica concreta, per esempio, il più classico dei quesiti della meccanica del punto materiale: il pendolo. Il modello fisico idealizzato ipotizza situazioni che non hanno riscontro con la realtà ma che aiutano a semplificare enormemente il problema. Esse sono: (i) asta del pendolo di peso nullo, (ii) perno con frizione nulla, (iii) resistenza dell'aria trascurabile, (iv) massa del pendolo tutta concentrata in un punto alla estremità dell'asta". Passiamo quindi dal modello idealizzato al modello matematico. Se  $\alpha$  è l'angolo che l'asta del pendolo forma con la verticale, la componente della forza peso responsabile del rientro del pendolo verso il basso è pari a  $mg \sin(\alpha)$ . Per facilitare la risoluzione dell'equazione differenziale nell'incognita  $\alpha$ , supponiamo che tale angolo sia inferiore a 1/10 di radiante (circa 6 gradi), in modo tale che la funzione sinusoidale  $\sin(\alpha)$  sia approssimabile direttamente con il valore dell'angolo  $\alpha$ . Il risultato dell'equazione differenziale ci dice che il periodo del pendolo dipende dalla lunghezza dell'asta e dalla accelerazione di gravità  $g$ , ma non dalla massa del pendolo. Risultato non del tutto prevedibile *a priori*. Risultato ancora più rilevante se si nota che con un



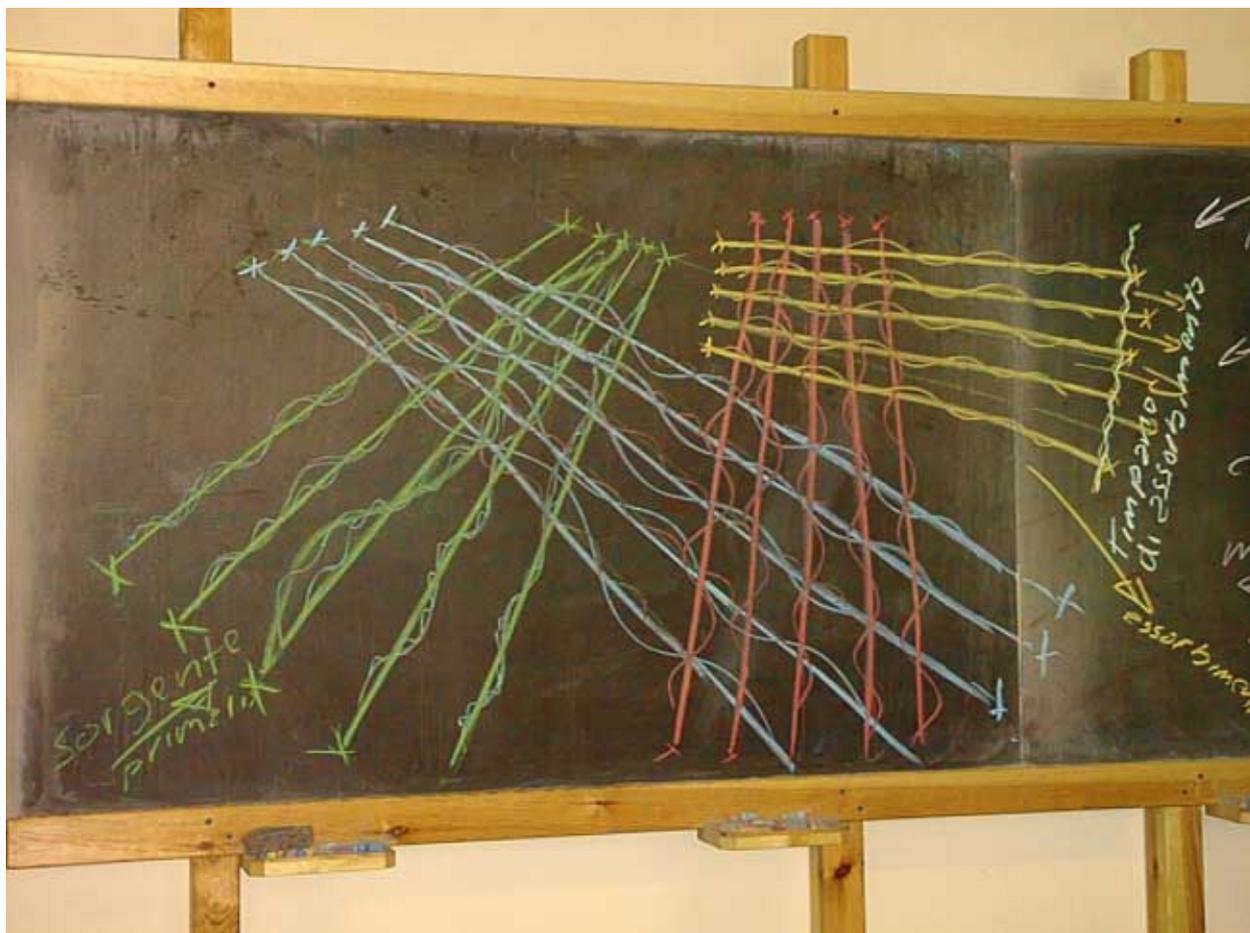
**425 Innesco di vibrazione indotta.** A questo punto tutti i fasci presenti si comportano come innesco per i fasci vicini: fino a raggiungere quello giallo.

cronometro si può effettuare una misura diretta del periodo e, tramite la formula trovata, si arriva a una determinazione indiretta dell'accelerazione di gravità. Come si può notare la schematizzazione piuttosto spinta permette nondimeno di arrivare a una conclusione di grande portata da un punto di vista fisico.

**7.3 Meriti e limiti del modello matematico.** Riprendiamo, a questo punto, il testo di Brauer e Nohel: "La costruzione del modello matematico è spesso difficoltosa e richiede molta pratica.

*una costruzione che diviene illusione  
e scompare anche il modello*

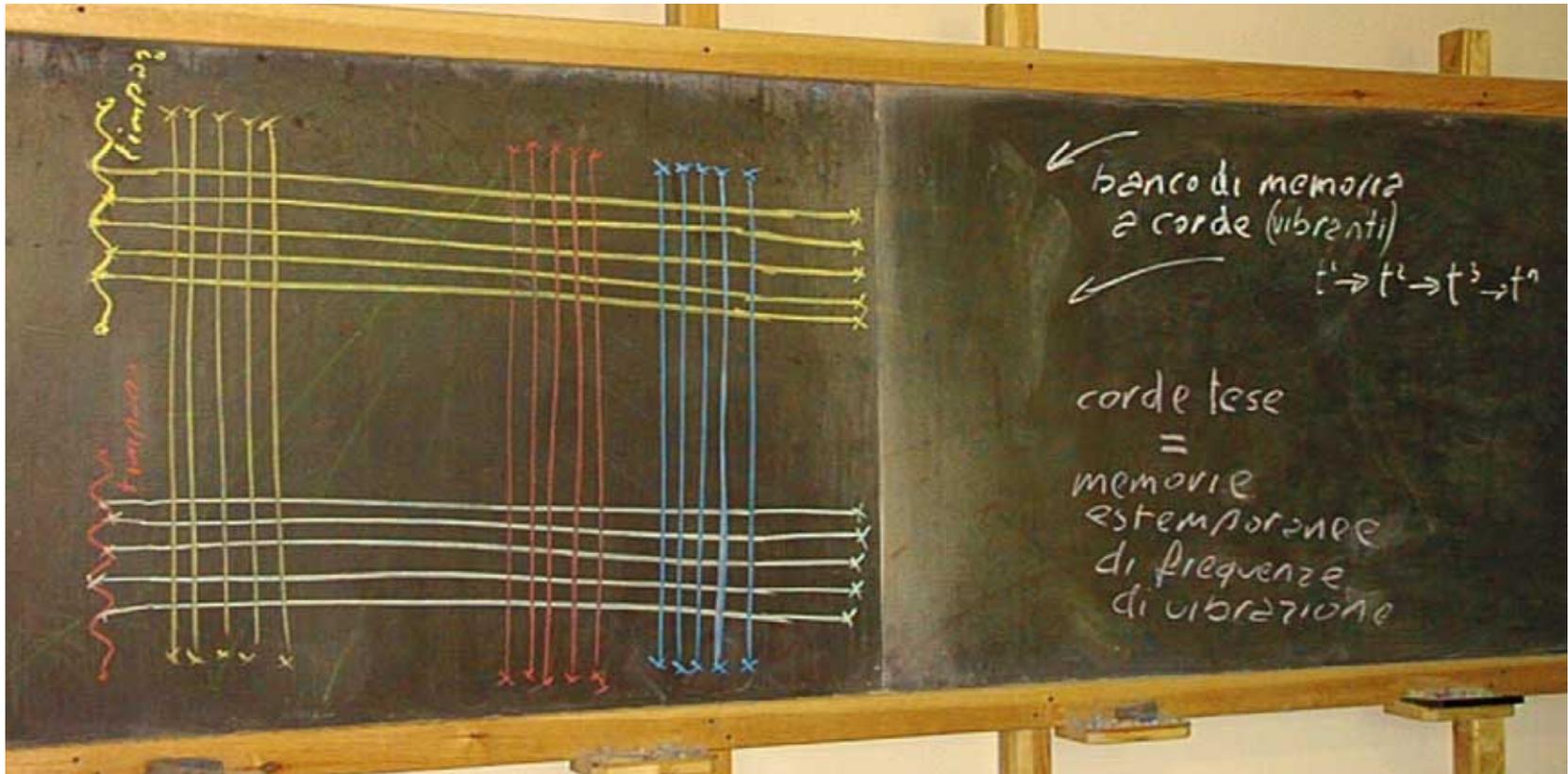
Spesso questo importante aspetto della procedura non viene preso adeguatamente in considerazione. Il modello matematico potrebbe essere assai semplice, come un'equazione lineare o quadratica oppure così complesso da richiedere molte pagine per essere descritto". Il passo successivo consiste nell'usare tecniche matematiche per esplorare le proprietà del modello e per rispondere a domande specifiche. Se per tali domande esiste una risposta, diventa allora possibile confrontare il modello matematico con la realtà fisica: per esempio, progettando ed eseguendo un esperimento e mettendo in tal modo alla prova la validità delle schematizzazioni adottate per la costruzione del modello matematico. L'intera procedura può essere così riassunta. Della "realtà fisica" vengono formulate "leggi" che permettono in primo luogo di scrivere una "approssimazione fisica" cui segue la stesura di un "modello matematico", la quale attraverso procedimenti analitici o numerici formula una "previsione". Quest'ultima, attraverso un "confronto" biunivoco con la realtà fisica di partenza, può dare luogo a una nuova iterazione del "loop" già percorso oppure essere ritenuta soddisfacente come valida approssimazione del processo fisico in studio. La scelta delle leggi e delle approssimazioni fisiche e la costruzione di modelli matematici appartengono più alla scienza sotto esame che alla matematica. *È molto importante non confondere il modello matematico con la realtà che esso approssima.* Un modello è tanto più efficace quanto più simula strettamente la realtà. Tuttavia, quasi sempre, vi sono aspetti della realtà che esso non è in grado di riprodurre. È valida anche la proposizione inversa: quasi sempre, il modello prevede eventi



**426 Smorzamento delle vibrazioni su un timpano.** La presenza di un timpano, alla estremità delle corde gialle causa una trasformazione di energia vibrante in energia meccanica di compressione del timpano. In tal modo il fascio giallo non è più in grado di innescare ulteriori risonanze acustiche.

che di fatto non accadono. L'abilità dello scienziato sta nel come e dove sapere usare un particolare modello. Esistono esempi storici illuminanti: i fisici a volte trattano la luce come un'onda, altre volte come un corpuscolo o una particella. Qual'è la verità? Nessuna delle due, probabilmente. Entrambi i modelli sono soltanto due schematizzazioni differenti, due modelli alternativi di modello matematico della propagazione della luce. Entrambi prevedono (vale a dire, spiegano) con successo alcuni fenomeni riguardanti i processi luminosi, ma entrambi prevedono processi che la luce non produce. Altri esempi? Le leggi del moto di punti materiali o particelle elementari proposte da Newton non sono le sole appropriate e corrette: per velocità che avvicinano quelle della luce, le leggi di Einstein incalzano più da vicino la realtà. La legge di Hooke relativa alla elasticità dei corpi non è la sola legge rigorosa e così via. In conclusione, i modelli matematici sono usati da lungo tempo in molti campi, anche se non esiste un accordo universale su che cosa si intenda con il termine "modello" nelle varie aree di applicazione o su quanto la denominazione di "modello" differisca da altri termini assai diffusi come "sistema" o da altre procedure verbalizzate come "simulazione" oppure "emulazione".

**7.4 Il ruolo dei modelli matematici.** Gli anni recenti hanno visto tentativi quanto mai intensivi e rigorosi di estensione dell'arte della modellazione matematica a un campo di applicazioni in continua espansione. L'accento sui modelli trova le sue ragioni di essere, in primo luogo, nell'aumentata disponibilità di calcolatori numerici di tipo interattivo e di linguaggi di simulazione decisamente mirati e *ad hoc*. In secondo luogo, l'impeto verso l'uso di modelli matematici avanzati e sofisticati viene motivato dalla necessità di tutte le discipline scientifiche fisiche, biologiche, psicologiche e sociali di formulare metodologie sempre più orientate verso aspetti quantitativi e non più unicamente qualitativi. Tutto il difficile e complesso mondo del *decision making* ricorre a un uso implicito (quando non è eloquentemente esplicito) di modelli, dato che l'operatore del settore ha in mente una relazione causale quando deve adottare una decisione. La modellazione matematica può quindi essere considerata come una descrizione formale dei processi di *decision making*. Come risultato di questo approccio, modelli e simulazioni matematici sono usati con grandi frequenze in molti campi che, fino a pochi anni fa, erano definiti bonariamente come "non-scientifici" oppure troppo vaghi per essere ritenuti "scien-



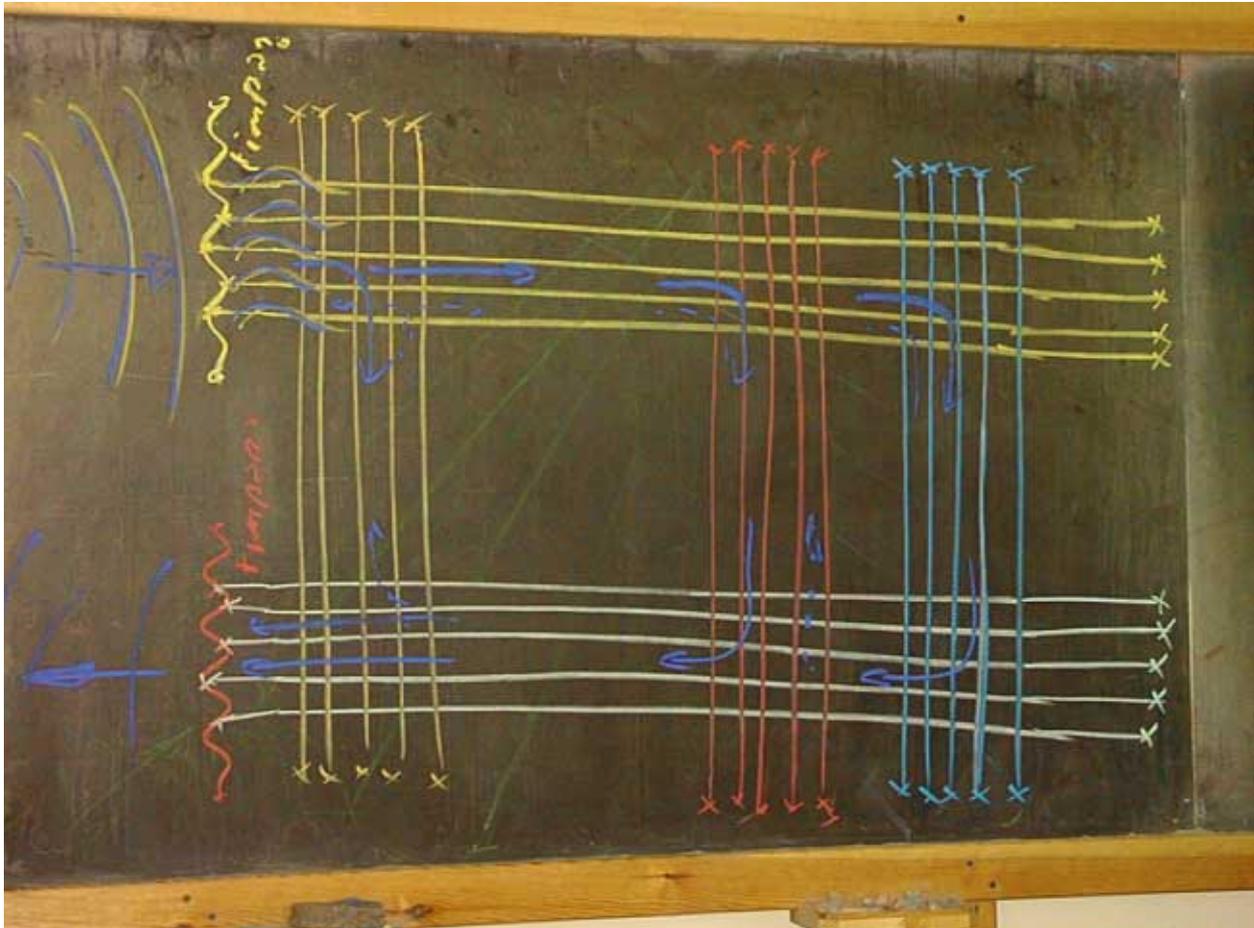
**430 Il pianoforte di Craik 1.** La macchina cibernetica, dopo una serie spettacolare e plurima di analogie tra vari domini e fenomeni, può essere ancora stilizzata come un reticolo multiplo di corde vibranti. L'ingresso delle vibrazioni avviene attraverso un timpano. L'uscita delle vibrazioni è costituita da un timpano. Anche questa rappresentazione costituisce un banco di memoria estemporanea.

"Il pianoforte di Craik" fig: 430; 432; 433

tifici". L'arte della modellazione non si è evoluta senza difficoltà e controversie. Per esempio, gli specialisti in modelli di sistemi *hard*, come i sistemi di controllo elettromeccanici hanno dichiarato impossibili le procedure di modellazione in aree *soft*, come l'economia e la sociologia, dove viene a mancare la scientificità rigida delle grandezze in gioco. Biologi e psicologi hanno messo e mettono in dubbio la validità di procedure *hard* in sistemi in cui il numero di variabili risulta troppo elevato per essere descritto con attenzione e rigore. Sorgono in tal modo dubbi sull'uso e il significato del termine *modello* nelle varie aree di applicazione.

**7.5 Modelli matematici di sistemi fisici.** "Nei sistemi fisici" sostiene Walter J. Karplus (*The Spectrum of Mathematical Models*, University of California Los Angeles, 1983), "le grandezze in gioco sono soltanto tre: eccitazione, sistema, risposta. La tipologia del problema cambia a seconda di quale sia la grandezza incognita e quali le due grandezze note". Infatti, molti dei concetti e delle tecniche fondamentali nella modellazione matematica hanno avuto origine nella trattazione di sistemi applicati di primo interesse per ingegneri e fisici. Questi concetti e tecniche sono state poi esportate nell'area dei cosiddetti problemi *soft*. Per poter comprendere vantaggi e limiti di tale operazione di trapianto, è necessario vedere come la soluzione di questi problemi viene ottenuta per i sistemi fisici semplici e via via più complessi. Un sistema fisico è costituito da un'entità fisica relativamente complessa con contorni chiaramente definiti, che può essere studiato per mezzo di misure e che reagisce a stimoli esterni in maniera nota o prevedibile. Il termine *sistema fisico* descrive entità diverse come circuiti elettrici, collegamenti di elementi meccanici, viadotti idraulici, conduttori termici, campi che circondano antenne e così via. Fondamentale per tutta la teoria dei sistemi fisici è la relazione di causa-effetto che esiste tra l'eccitazione (immessa in ingresso al sistema) e la risposta (emessa in uscita dal sistema). L'eccitazione risulta in generale costituita dall'applicazione di materia o energia in entrata al sistema, laddove la risposta prende la forma di uno stato stazionario oppure di un transitorio di materia o energia all'interno del sistema e attraverso le sue frontiere verso l'esterno. Questa semplice ma utile rappresentazione del sistema fisico possiede il seguente aspetto:





**432 Il pianoforte di Craik 2.** L'ingresso di un fronte di indizi attraverso il timpano genera un flusso di vibrazioni nelle corde che, alla fine, raggiunge l'ambiente esterno attraverso il timpano di uscita. È da notare come i flussi di vibrazione si propagano all'interno del sistema mediante interferenze tra i vari insiemi di corde, generando così una serie di anelli, anche parziali, lungo tutto il percorso.

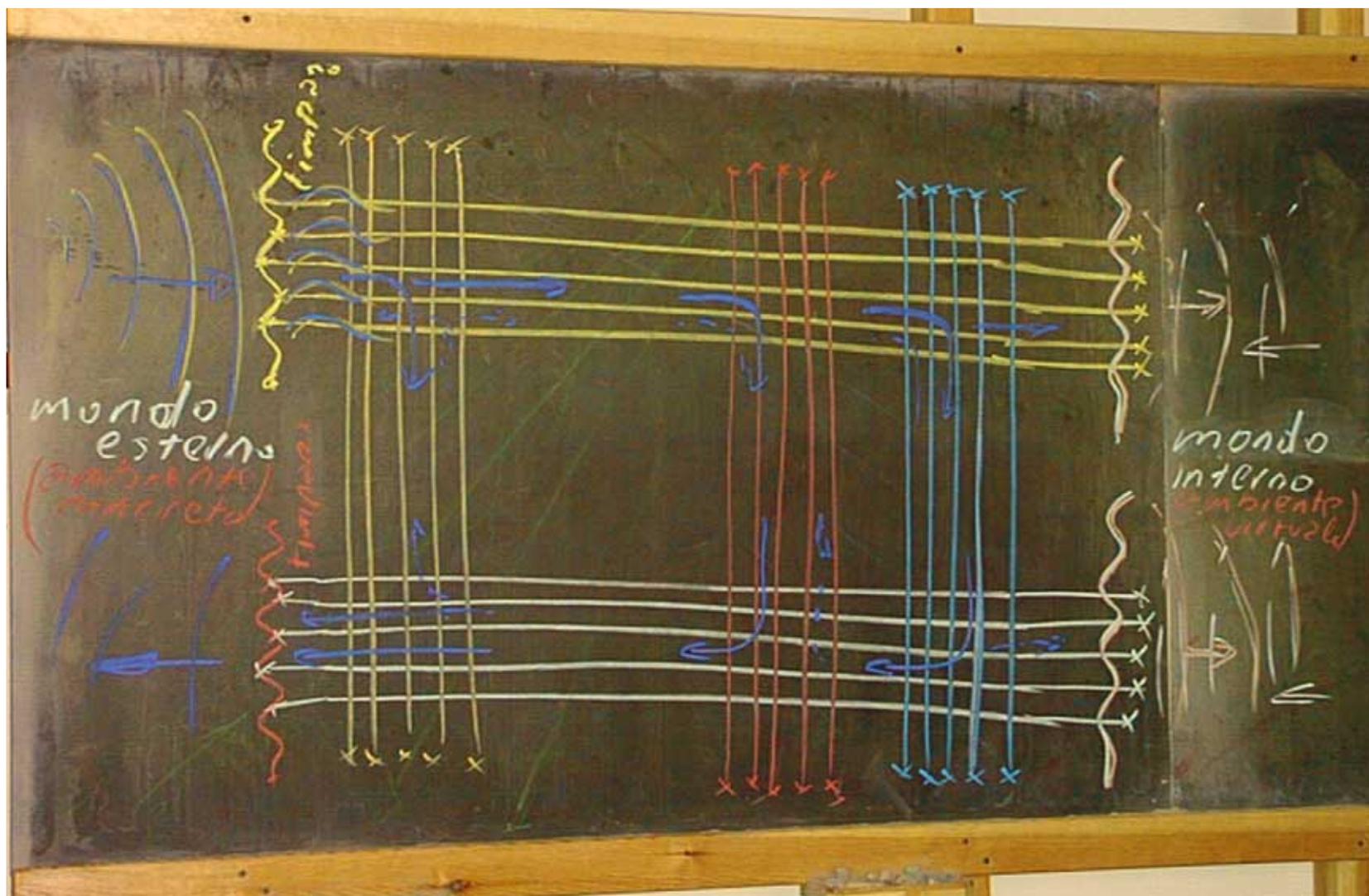
Come sosteneva Karplus all'inizio del paragrafo, il sistema appena descritto fornisce tre tipologie di problemi a seconda della grandezza che viene ipotizzata incognita e delle conseguenti due ritenute note o misurabili.

*che strutturare fatto sistema  
è il carro  
ma di creare l'itinerario  
e di guardare tra dentro e fuori  
a ricercare la coincidenza  
tocca al cocchiere*

Per ordine e semplicità, procediamo a ritroso, scegliendo come incognita prima R, poi S e infine E. Ne consegue il seguente schema

Tipo di problema	Grandezze note	Grandezza incognita
Analisi	E, S	R
Sintesi	E, R	S
Controllo	S, R	E

Nei problemi di *analisi*, sono specificati tipo di eccitazione e natura del sistema e deve essere determinata la risposta. Nei problemi di *sintesi*, sono specificati tipo di eccitazione e tipo di risposta e deve essere determinata la natura del sistema. Spesso questa tipologia di problema viene anche indicato come *identificazione* del sistema, del progetto del sistema (*design identification*) oppure del modello del sistema (*model identification*). Nei problemi di *controllo*, sono specificati natura del sistema e tipo di risposta, deve essere determinato il tipo di eccitazione. Questa tipologia di problema viene anche indicata come tesa alla *strumentazione* da allestire per comprendere a quale eccitazione è stato sottoposto il sistema in esame (*noise analysis, scatola nera, rete sismica*). Attribuendo un ordine sequenziale convenzionale allo schema prima fornito, si è anche soliti definire il problema di analisi come problema *diretto*, laddove i problemi di sintesi e strumentazione vengono classificati problemi *inversi*. Qual'è la differenza sostanziale tra i tre problemi? Si tratta di una differenza non trascurabile da un punto di vista conoscitivo.



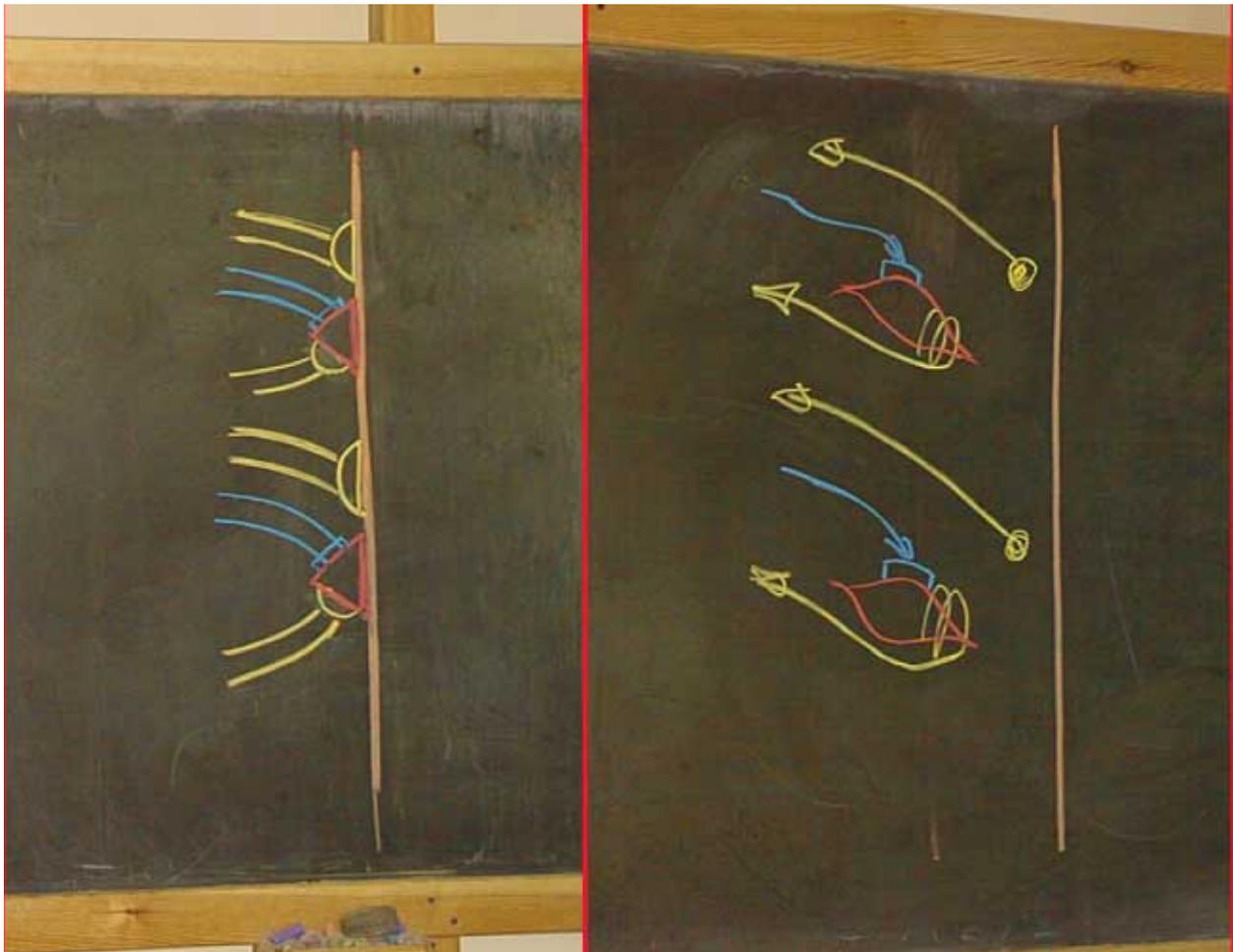
**433 Il pianoforte di Craik 3.** È possibile aggiungere ulteriori sistemi di corde risonanti sempre più lontani dal mondo esterno. Questa circostanza permette elaborazioni sempre più astratte e distaccate dalla realtà sotto forma di moduli cibernetici autonomi e minimali, vale a dire dotati di funzionalità estremamente parziali.

Infatti, il problema diretto (salvo particolari eccezioni) possiede una e una sola soluzione. Invece i problemi inversi posseggono un numero infinito di soluzioni corrette e fisicamente giustificabili.

*di mille idee  
faccio ghirlanda  
e d'esser del centro  
scena mi regge*

Di solito viene scelta una delle possibili soluzioni in base ad altri vincoli o condizioni al contorno, nei quali emerge la necessità di massimizzare la vita aspettata del prodotto che si sta modellando oppure si vogliono minimizzare altre opportune grandezze fisiche in gioco, quali il peso e il costo del prodotto.

**7.6 La modellazione matematica è un problema diretto o inverso?** In generale un modello matematico è costituito da un insieme di equazioni che caratterizza un sistema della vita reale, il quale spesso prende il nome di *prototipo* oppure *sistema prototipo*. La caratterizzazione consiste nel rappresentare correttamente almeno alcune delle relazioni di eccitazione & risposta. Le eccitazioni di ingresso al sistema sono espresse matematicamente e operano da termini di sorgente nel modello matematico adottato. Le soluzioni fornite dall'insieme di equazioni costituiscono allora rappresentazioni matematiche del corrispondente sottoinsieme delle risposte fornite dal sistema. Nella modellazione matematica, il ricercatore ha a disposizione dati di eccitazione e dati di risposta, a volte in termini di funzioni matematiche a volte in termini di risultati di osservazioni sperimentali, e ha il compito di caratterizzare il sistema in termini di espressioni matematiche. Secondo quanto espresso nel quadro generale prima esposto, il ricercatore si trova quindi di fronte a un problema di tipo inverso: la modellazione matematica costituisce un problema di sintesi. Come abbiamo visto in precedenza, il problema ammette - in teoria - infinite soluzioni, tra le quali deve essere scelto il modello che soddisfa più degli altri alle varie condizioni di vincolo: a volte, queste ultime sono difficili da individuare, perché non sempre compaiono nella loro esplicita compiutezza. Deve essere sottolineato, a questo punto, che l'identificazione di un modello non è soltanto e puramente un problema di tipo inver-



**600 Dinamica di insieme del fronte d'onda complessivo.** Estendendo la descrizione del singolo canale a un insieme di canali, si può arrivare alla costruzione degli strati periferici delle reti e anche delle interconnessioni reciproche. Nella lavagna 600 si vede un parallelo tra due tipi di schematizzazioni: a destra la struttura tipo elemento dinamico e sensori liberi, a sinistra la struttura tipo canale, dove i cavi sono diventati canali (afferenti in blu ed efferenti in giallo). Il triangolo rappresenta la singola fibra muscolare, il semicerchio rappresenta il sensore libero. In realtà, i soli sensori si appoggiano alla membrana di separazione (pelle) tra ambiente interno ed ambiente esterno.

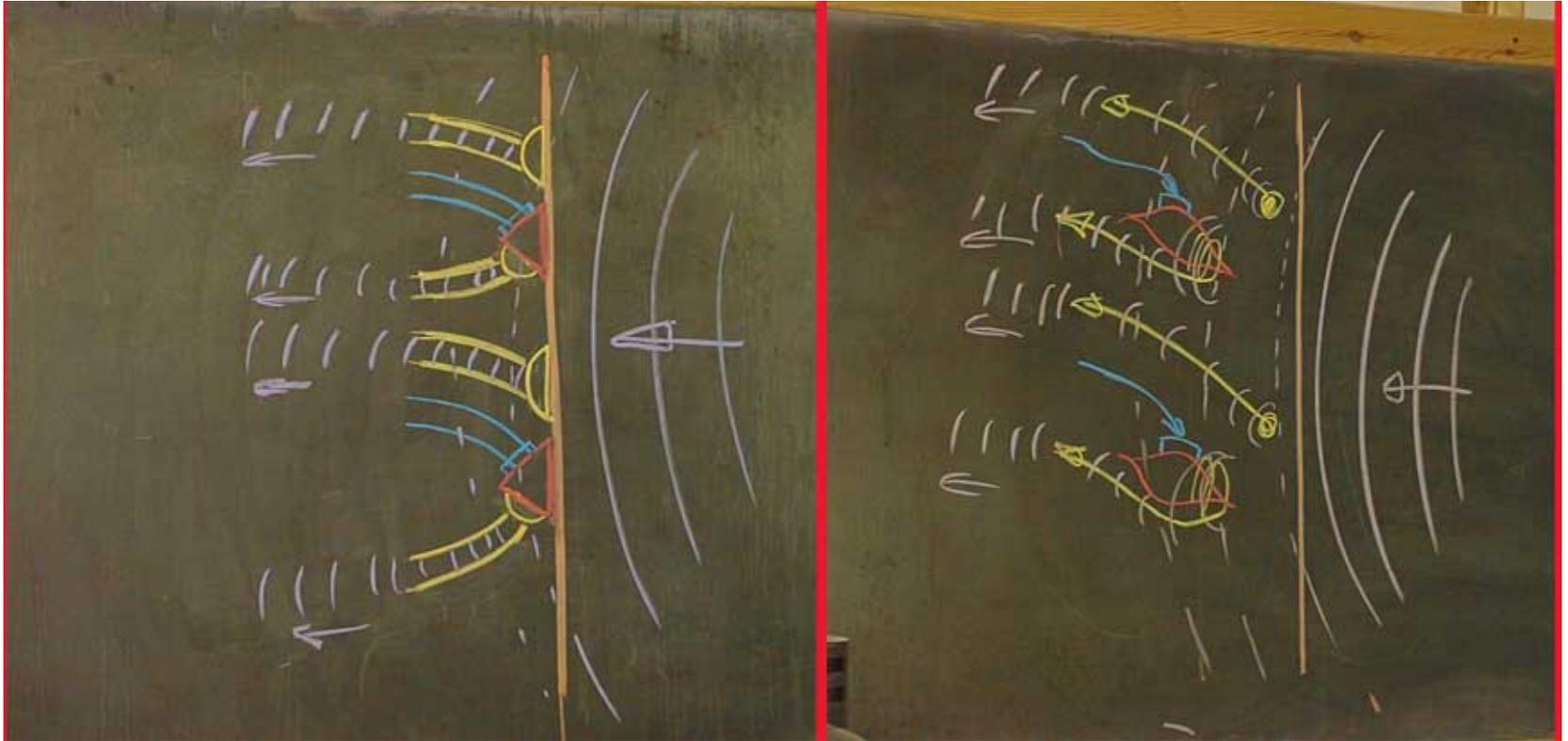
**"I fronti d'onda dei quanti" fig: 600; 601; 602; 603**

so in quanto al momento della scelta del modello preferenziale, spesso denominato "candidato", una delle prime prove cui lo si sottopone è un problema di tipo diretto, vale a dire un problema di analisi. Data la eccitazione (nota) e dato il modello candidato, si va alla verifica che la soluzione del problema conduca a una risposta il più possibile vicina alla risposta (nota).

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

Da quel momento in poi, il procedimento matematico procede per iterazioni successive, tra le sponde opposte del problema inverso e di quello diretto. Lo studio dei sistemi risente fortemente delle conoscenze disponibili di alcuni aspetti interni al sistema sotto analisi: (i) le leggi o i principi fondamentali che riguardano il carattere generale delle equazioni che lo descrivono; (ii) la struttura, che descrive la numerosità dei componenti interni e le relazioni che li collegano; (iii) i parametri che in un modello matematico rappresentano i descrittori numerici della schematizzazione fisica adottata. Nel caso generale, i tre aspetti sono noti soltanto parzialmente. Altro problema è quello della osservabilità: si pensi ad esempio ad eventi rari, ovvero con probabilità di comparsa per unità di tempo assai ridotta. Un ulteriore elemento di investigabilità del sistema sotto esame è la possibilità o meno di applicare ad esso eccitazioni di natura nota e predefinita dall'esterno.

**7.7 Scatole nere, oscure, grigie, bianche.** I problemi di sintesi, e in special modo i problemi di identificazione di un modello matematico del sistema in studio, sono spesso denominati problemi a *black box* (scatola nera). Facendo riferimento allo schema già introdotto in precedenza, l'eccitazione  $E$  e la risposta  $R$  sono note, ma il contenuto della scatola etichettata  $S$  è incognita: con una metafora presa a prestito dall'ottica fotografica, gli addetti ai lavori dicono è *camera obscura*. In altri termini la conoscenza del sistema  $S$  viene espressa in termini della sua trasparenza agli occhi dell'osservatore esterno: più dati si conoscono a proposito del sistema, maggiore diventa la sua *glasnost*, la sua visibilità dall'esterno. La



**601 Propagazione del fronte di quanti.** Un fronte dall'esterno penetra e viene trasmesso all'interno tramite i sensori e attraverso la deformazione degli elementi dinamici. Questa seconda provoca l'eccitazione indotta del sensore dell'elemento dinamico. A questo punto si genera un passaggio di quanti energetici nei canali verso l'interno.

conoscenza del sistema  $S$  risulta nulla, assai ridotta, parziale o totale in funzione non soltanto della individuazione di una serie di processi componenti il sistema, ma anche della determinazione più o meno spinta delle interconnessioni presenti tra i componenti stessi.

*quanti registi intorno mi so' inventato  
ch'ognuno a conoscenza di qualcosa  
contratto attendo*

Vediamo come si distribuiscono i gradi di trasparenza della scatola  $S$  a seconda delle discipline fisiche, biologiche e sociali esaminate e a seconda delle esigenze che le medesime discipline presentano sia agli studiosi, sia agli istituti di ricerca pubblica e privata, sia agli *end user* e all'opinione pubblica.

## SPETTRO DELLE DISCIPLINE

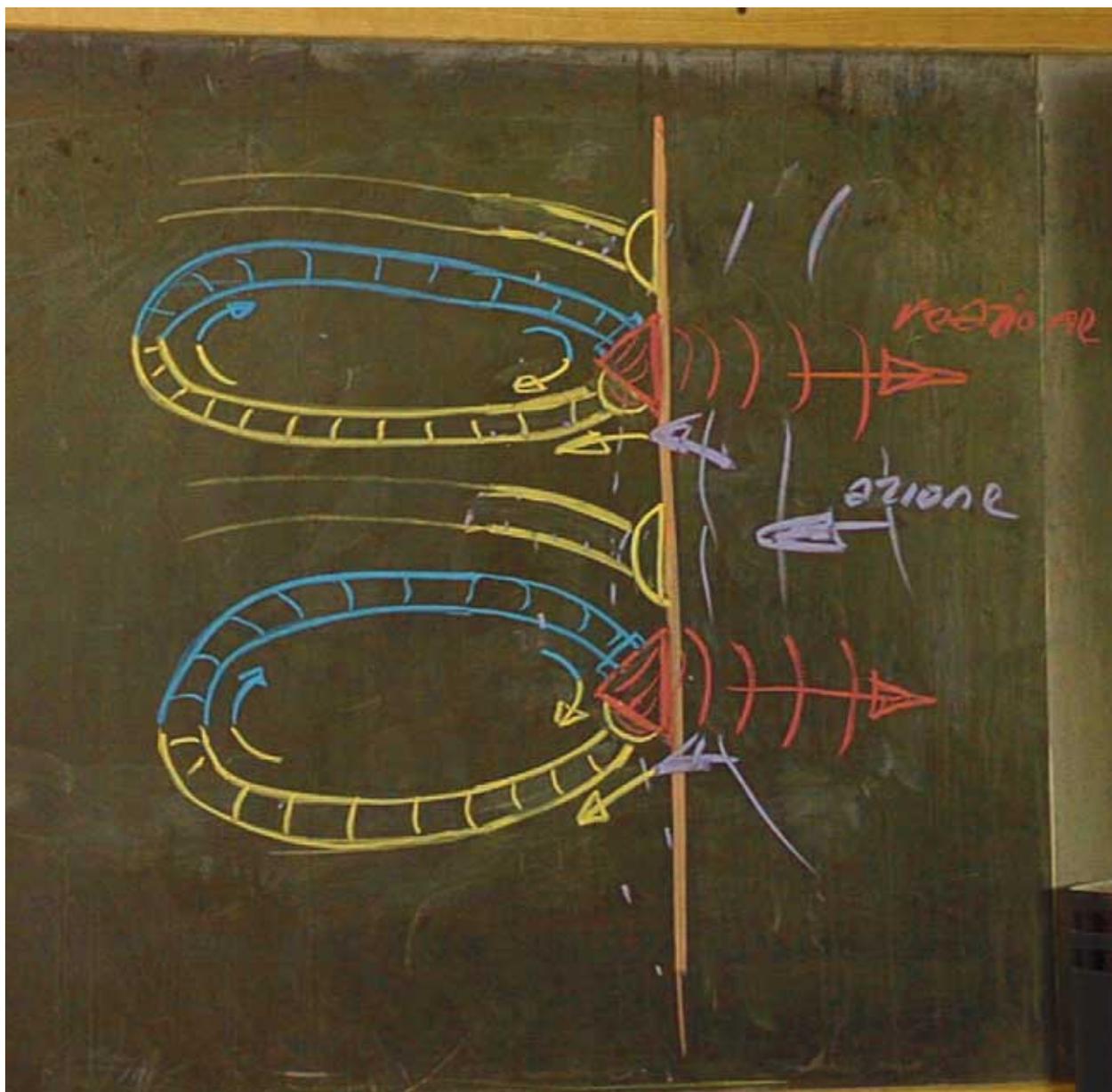
<b>%</b>	<b>Disciplina</b>	<b>Esempio</b>	<b>Motivazione</b>
100	Fisica	Circuiti elettrici	Progettazione
90	Ingegneria	Controllo di processo	Predizione Prestativa
60	Geofisica	Idrologia	Predizione Intervento
40	SciAmb	Inquinamento	Strategie d'azione
30	Biologia	Meccanismi cellulari	Test di teoria
20	Neuroscienze	Apprendimento	Comprensione fenomeni
20	Economia	Previsione PIL	Stima qualitativa
10	Politica	Campagna elettorale	Parametri sensibili

Il nostro obiettivo nelle neuroscienze è arrivare a progettare l'apprendimento.

*% indica la trasparenza della scatola sotto esame.*

*La quarta colonna letta bottom-to-top rappresenta i diversi stadi della teoria della conoscenza.*

*Scatole bianche.* I modelli matematici adottati per la risoluzione di problematiche riguardanti i circuiti elettrici sono storicamente quelli che hanno riscosso maggior successo e hanno dato il via alla ricerca di meto-

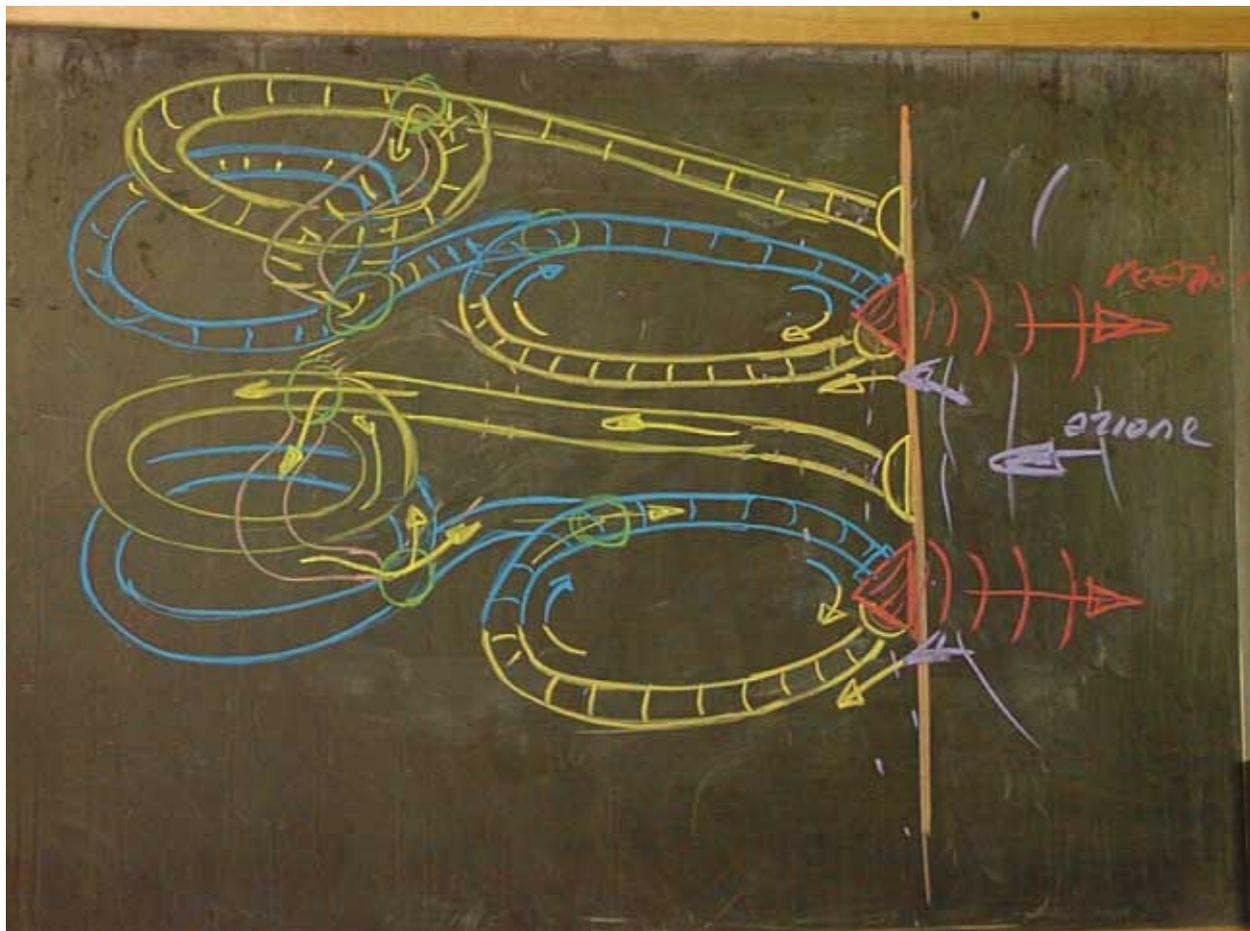


**602 Ingresso e uscita del fronte: anelli condizionati.** Un meccanismo elementare di connessione. Quando i canali afferenti ed efferenti vengono collegati tra loro, i quanti generati dal sensore dell'elemento dinamico torneranno direttamente all'elemento stesso. Si avrà quindi una perturbazione ma questa volta dall'interno verso l'esterno.

dologie in qualche modo analoghe da applicare anche in altri settori. La schematizzazione a blocchi degli elementi costituenti di natura passiva (resistenze, capacità, impedenze), di natura attiva (pile e sorgenti variabili nel tempo), delle componenti condizionali e amplificatorie (diodi, triodi e così via) ha costituito un esempio di grande sintesi e riscosso la segreta ammirazione di tutte le altre scienze. Le leggi di Ohm e di Kirchhoff permettono la costruzione di modelli matematici talmente perfetti da non avere necessità di ricorrere neppure a dati sperimentali in aiuto alla previsione la quale si presenta nella sua totalità di assoluto riscontro con la realtà sperimentale.

*Scatole grigie.* I modelli matematici adottati per la risoluzione di problematiche riguardanti il controllo dei veicoli aerospaziali seguono da vicino, ma a debita distanza, il successo riscosso nei circuiti elettrici. In questo settore, i principi meccanici fondamentali sono ben noti così come tutte le caratteristiche e le dimensioni del vettore spaziale. Tuttavia, alcune funzioni aerodinamiche possono non essere identificate soltanto attraverso simulazioni e devono essere misurate durante il volo reale delle macchine. La presenza di eccessivo rumore e la mancanza di controllo di alcune situazioni di emergenza anomala (vale a dire l'impossibilità di una diagnosi precoce di malfunzionamenti di tipo imprevisto) rendono difficile la conoscenza completa di questi sistemi. Altrettanto si può dire a proposito di altri impianti (questa volta fissi e non mobili) di grandi dimensioni quali i reattori chimici di produzione e raffinamento e i reattori per la produzione di energia elettrica alimentati da combustibili fossili e fissili.

*Scatole oscure.* I modelli matematici adottati per la risoluzione di problematiche riguardanti l'inquinamento ambientale compaiono in tutte le fasi di questo complesso processo: previsione, prevenzione, emergenza e ripristino. In quest'area, si assiste a una buona conoscenza generale dei processi chimici e fisici coinvolti (per esempio, il movimento delle acque nelle riserve sotterranee oppure la diffusione aerea degli inquinanti) ma le variabili critiche che caratterizzano il sistema non sono quasi mai accessibili per essere misurate. In essenza, i fenomeni che dovrebbero essere matematicamente modellati hanno luogo in mezzi chimici, fisici, geologici le cui proprietà distribuite sono conosciute soltanto con notevole



**603 Propagazione del fronte di quanti all'interno delle reti.** Un meccanismo più sofisticato di connessione con turismo interno. Quando il meccanismo elementare viene esteso all'interno, i quanti generati dai sensori, oltre a percorrere il tragitto minimo descritto nella lavagna 602, si diramano in canali più interni e attivano altri meccanismi (descritti nel seguito della trattazione), sempre per finire con l'uscire nuovamente all'esterno.

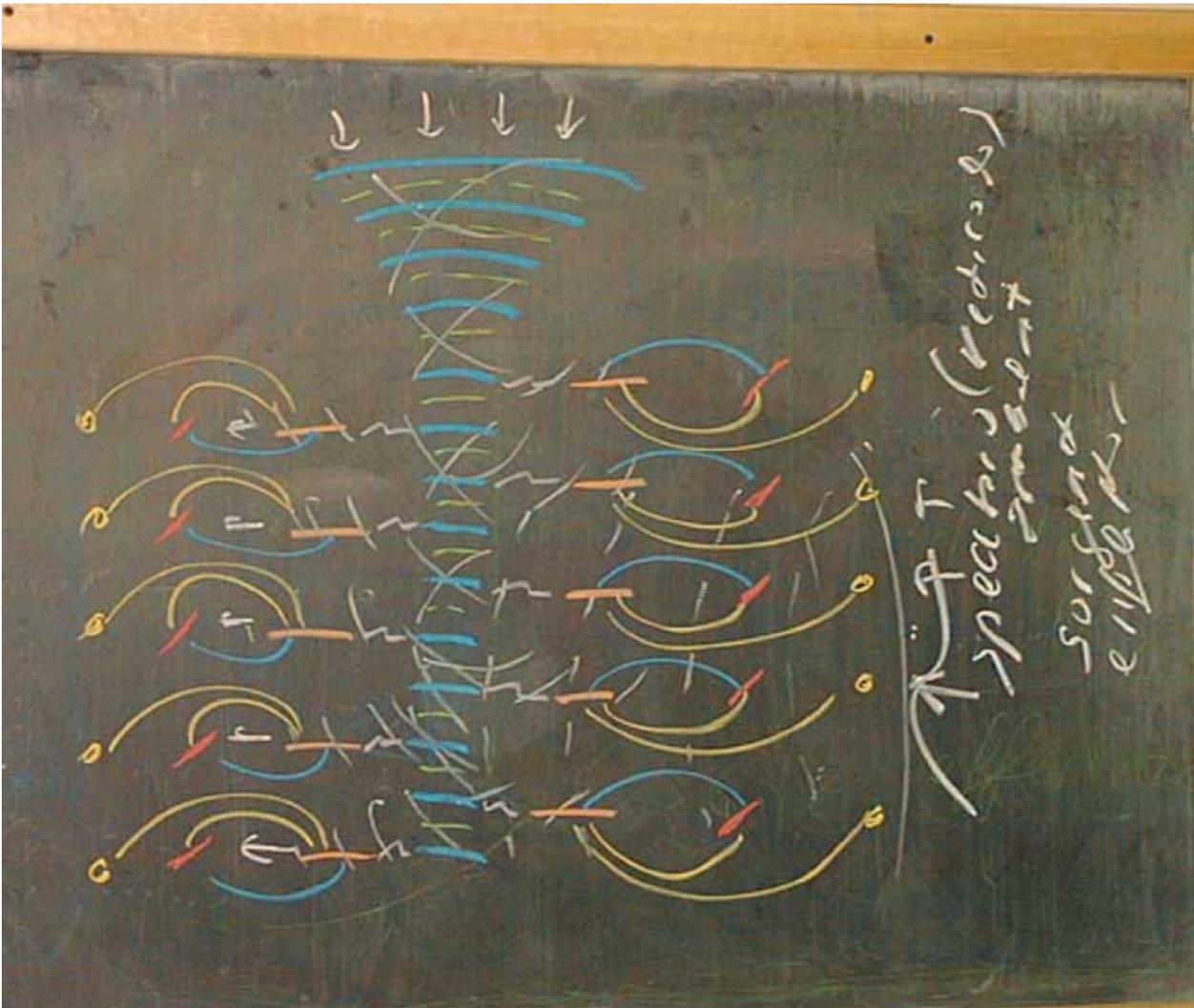
imprecisione.

*Scatole quasi-nere.* I modelli matematici adottati per la risoluzione di problematiche riguardanti le scienze della vita costituiscono una esigenza primaria a tutti i livelli. Le difficoltà che sorgono in quest'area derivano dal fatto che i processi e i fenomeni in studio e sotto osservazione coinvolgono un numero assai elevato di discipline assai diverse tra loro ma anche con forti aree di sovrapposizione reciproca. La chimica accosta la fisica, entrambe sono coinvolte nella biologia come nella psicofisiologia di tutti i momenti della vita degli organismi esistenti sul pianeta. Inoltre la caratteristica del sistema, da descrivere in termini di modello matematico, risulta fortemente dipendente dal tempo su scale di breve, media e lunga durata.

*Scatole nere.* I modelli matematici adottati per la risoluzione di problematiche riguardanti sistemi economici, sociali e politici sono i più ambiti, ricercati e corteggiati tra tutti quelli di grande uso nel mondo della ricerca sia scientifica sia tecnologica con ricadute su popolazioni (problemi di assistenza, risorse) come su singoli individui (salute, sopravvivenza). Malgrado tutti gli sforzi il loro stato-dell'arte risulta assai arretrato, dato che risultano molto controverse sia le tecniche di simulazione sia, e soprattutto, la scelta della variabili che determinano lo stato del sistema e guidano la sua evoluzione. Se il demografo parla di salvaguardia delle popolazioni umane, il genetista controbatte in termini di sopravvivenza della biodiversità: molto spesso, non esistono soluzioni che soddisfano entrambe le esigenze. Anche i problemi che riguardano il funzionamento corretto e anomalo della mente umana sono causa di notevole controversia, perché studiosi provenienti da diverse aree di formazione professionale tendono ad accostare i problemi con angolazioni troppo spesso inconciliabili con quelle dei potenziali collaboratori interdisciplinari.

*ad evitar scene di nero  
d'approfondir canali  
so' divenuti solo quelli*

**7.8 Paradigmi della tradizione, paradigmi dell'innovazione.** I corridoi dei laboratori scientifici sono, in tempi assai recenti, caratterizzati da



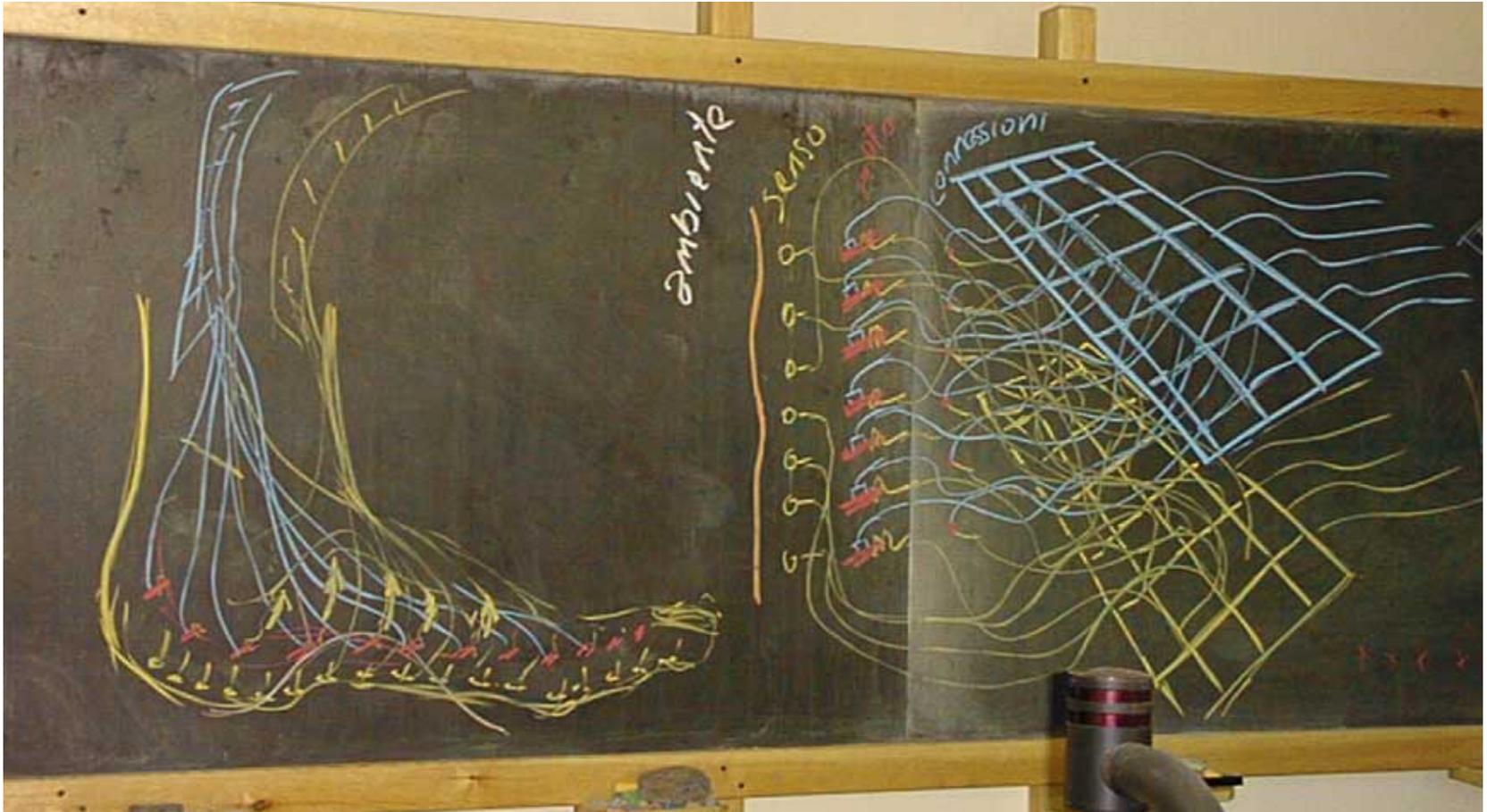
**034 Verso il midollo spinale e il sistema nervoso centrale.** Come si effettua la transizione dai singoli elementi costitutivi al complesso di sistemi quali il midollo spinale e l'encefalo? Con immediato riferimento con la lavagna 021, è possibile passare a una descrizione di dettaglio che vede il modulo diapason inserito nel corpo umano in modo da illustrarne la presenza operativa. Con immediato riferimento alla lavagna 030, si ritrovano i medesimi elementi, dove i moduli sono montati uno sopra l'altro, fino ad arrivare alla parte contenente soltanto connessioni. Si nota la presenza di due specchi, uno verso l'ambiente e l'altro verso l'interno delle connessioni. L'oggetto rispecchiato è il fronte dei quanti.

**"Midollo spinale e sistema nervoso centrale" fig: 034; 040; 043; 042; 330; 310; 300. 320**

eventi molto peculiari. Mentre all'interno dei laboratori analisti e ricercatori apprendono quantità sempre più ingenti di nozioni in settori di conoscenza sempre più ridotti, i risultati delle loro scoperte sembrano mettere in secondo piano le teorie riduzionistiche in favore di teorie olistiche più onnicomprensive. Questa tendenza ha assunto un'andatura di marcia sempre più spiccata, tale da invocare l'entrata in gioco di un nuovo *paradigma* nell'ambito della maggior parte delle scienze. Il ben noto filosofo della scienza Thomas Kuhn (*La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi 1969) ha puntualizzato come oggi la maggior parte degli sforzi scientifici, sia teorici sia sperimentali, siano rivolti a sostanziare le teorie in voga, quelle cioè che sono state stabilite con fondamenti di certezza nei vari settori della ricerca. Tuttavia, ogni due-tre decenni il peso dell'evidenza di nuove teorie o di innovativi risultati in prove di laboratorio chiede con urgente pressione una revisione delle tesi sostenute dalla tradizione. A questo punto, le nuove conoscenze tendono ad aprire una sostanziale opportunità di rovesciare l'organizzazione delle vecchie conoscenze, a patto di riuscire, nello stesso tempo, a soddisfare le antiche e ben salde nozioni e a spiegare quei passaggi cruciali che erano invece inspiegabili alla luce delle vecchie teorie.

*ma gran teatro  
integro resta  
che d'allargarsi a tutto  
al decader di scene  
prende respiro a nuovo inizio*

**7.9 Tre modelli di cervello in successione storica.** Karl Pribram, chirurgo, neuroscienziato e studioso del cervello, sostiene di avere incontrato, durante la sua lunga carriera, tre rivoluzioni paradigmatiche nella storia dell'interpretazione delle funzioni del cervello umano. "I miei esperimenti mirano - sostiene Pribram - in larga misura, a determinare, mediante l'analisi comportamentale, la funzione dei vari sistemi di strutture neurali che costituiscono il cervello. Questa *neuropsicologia* dei sistemi si trova a mezza strada tra due discipline: la *neurofisiologia*, lo studio elettrochimico delle funzioni delle cellule nervose, e la *psicologia sperimentale*, vale a dire l'analisi comportamentale delle funzioni dell'organismo nella sua totalità". Egli considera suo privilegio il fatto di essere stato al centro delle

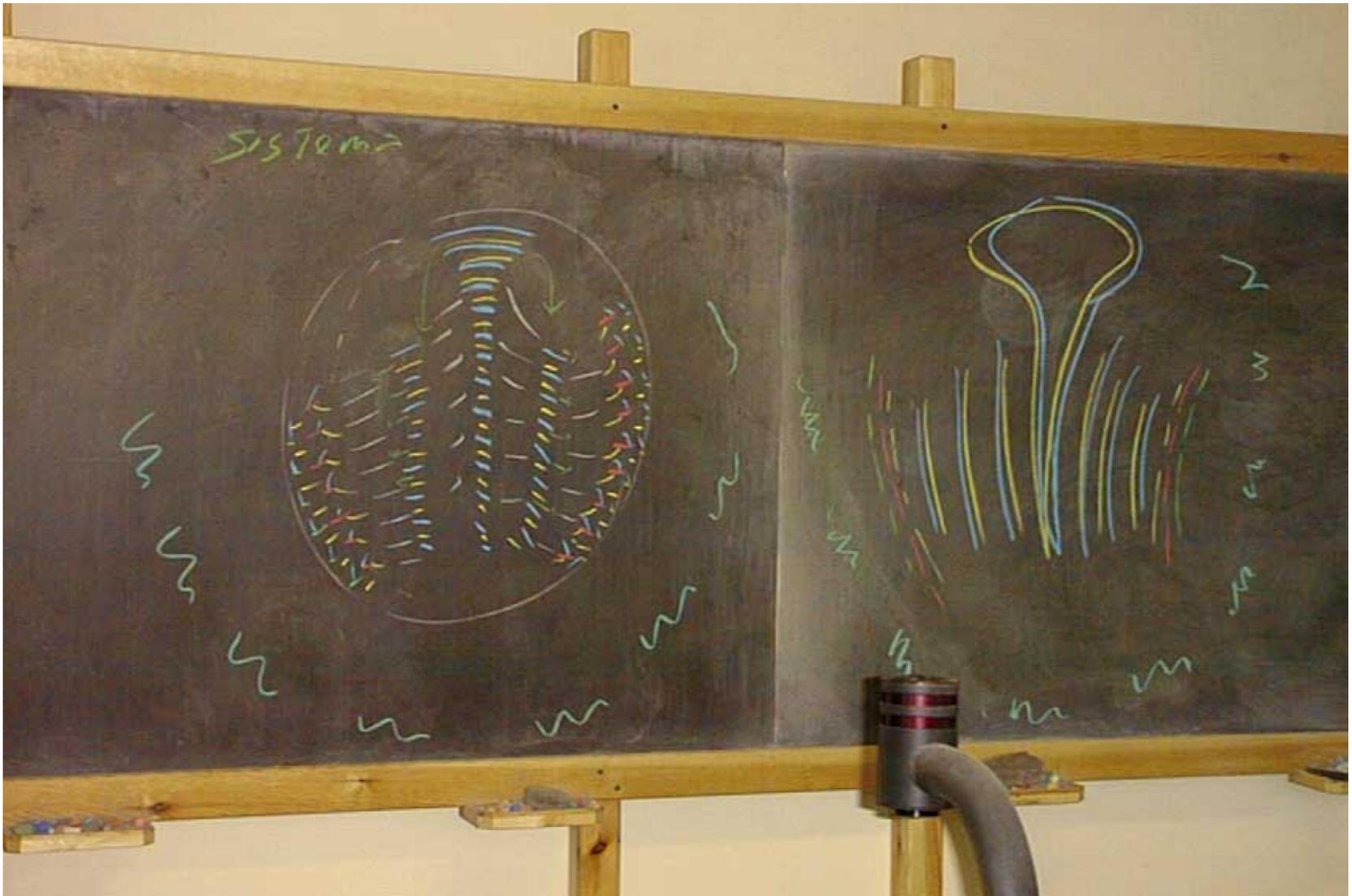


**040** La associazione delle parti periferiche dei moduli con il piede. Il modulo, che consta di strato di sensori, elementi dinamici e reti periferiche, viene assemblato all'interno di un simbolico piede.

bufere culturali che hanno accompagnato questi tre terremoti culturali all'interno delle neuroscienze. In ciascuna circostanza, vecchie vaghe e generiche formulazioni sono diventate obsolete e sono state rimpiazzate da teorie nuove, dotate di grande precisione descrittiva e predittiva, nel lungo cammino dai dati sperimentali fino alla identificazione di un modello operativo di funzionamento del cervello. La *prima* rivoluzione ha avuto luogo quando la concezione di un sistema nervoso centrale organizzato secondo una gerarchia a edificio architettonico orizzontale, nella quale i livelli ai piani alti controllano i livelli ai piani inferiori, è stata rimpiazzata da una concezione concentrica nella quale il nocciolo e le periferie sferiche esterne del sistema nervoso centrale sono destinate e realizzano funzioni diverse e differenti prestazioni. La *seconda* rivoluzione ha avuto luogo quando l'arco flessio semplice è stato rimpiazzato da una unità di comportamento elementare dotata di autoregolazione. In tale modo, una scienza del comportamento, con caratteristiche lineari, causali e del tipo stimolo-risposta è stata sostituita dalla individuazione di un sistema nervoso e prestativo basato su processi di *feedback* (retroazione) e *feedforward* (anticipazione). Infine, la *terza* rivoluzione ha avuto luogo quando si è adottato un modello di memoria distribuita: essa ha contribuito a una formulazione precisa, matematica e olistica che non aveva alcun precedente nelle scienze della mente. Questa ultima concezione prende il nome di *teoria olografica del cervello*.

*coralità tra dentro e fuori  
scena s'evolve*

**7.10 L'ologramma e le sue conseguenze.** "Mi viene spesso domandato come possa essere ricostruita un'immagine dalla memoria quando la rappresentazione olografica dell'immagine è distribuita in maniera così diffusa in ampie porzioni della corteccia cerebrale". Sono parole di Pribram nel corso di un seminario divulgativo in una università californiana. "Chi è il proverbiale diavolello di Maxwell - prosegue - che compie questa operazione e su quale schermo cinematografico?" Dopo molti anni, Pribram afferma di avere capito che non solo non sarebbe mai riuscito a rispondere a questa domanda, ma che probabilmente si trattava soprattutto di una domanda mal posta. Una domanda assai più appropriata sembrerebbe essere: che cosa ci fa pensare che la realtà fenomenologica sia quella che



**043** La associazione dei moduli con il l'intera macchina cibernetica. I moduli vengono assemblati all'interno di una membrana, costituendo una macchina cibernetica interagente con l'ambiente esterno.

osserviamo?

*al centro del mio spazio*

*sono*

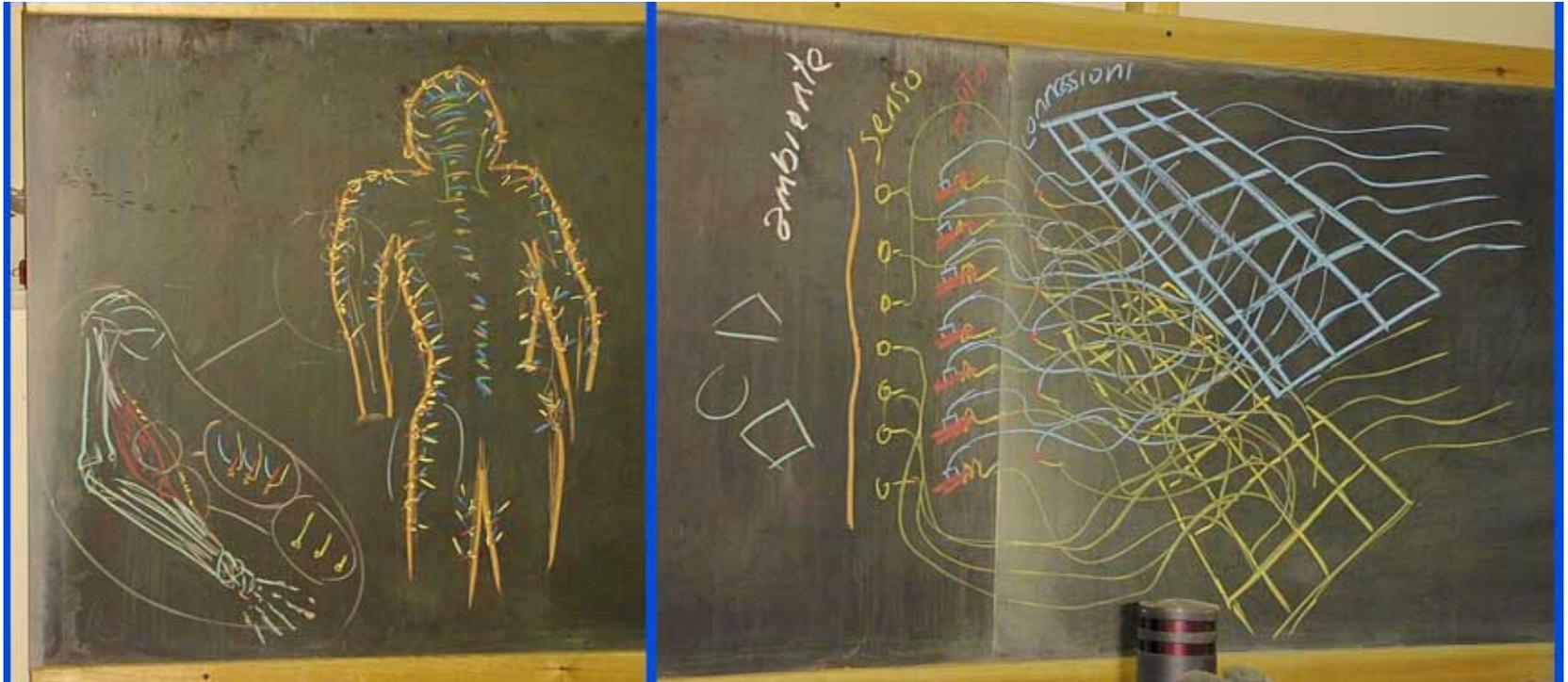
*unico spettatore di un teatro che proietta*

*viventi i miei pensieri*

La lente oculare mette a fuoco il mondo della luce esterna sulla retina, creando un'immagine e quindi, attraverso un processo di codificazione, il cervello disseziona e distribuisce i vari elementi. Chiediamoci: *quale* è la natura del mondo della luce esterna che la lente mette a fuoco? Se guardassimo il mondo esterno con qualcosa di diverso da una lente, raccogliremmo la stessa immagine? È possibile che il mondo esterno possa apparirci come un ologramma. Infatti molti fisici (per esempio Heisenberg, Bohr, Wigner, Bohm, per nominare alcuni dei più importanti), che hanno lottato a lungo per comprendere la natura fondamentale della materia, hanno proposto questa ipotesi. Nel suggerire questa ipotesi, non sto dimenticando la meccanica classica e la visione "oggettiva" dell'universo sensorio ordinario. Tuttavia, questa visione "oggettiva" può tenere conto soltanto parzialmente delle osservazioni a livelli ultramacroscopici e ultramicroscopici. Come sostiene David Bohm, fino dai tempi di Galileo la scienza ha fatto uso sistematico di lenti per osservare il mondo planetario (canocchiali, telescopi) e il mondo organico e molecolare (microscopi ottici, microscopi elettronici). Se avessimo avvicinato la realtà esterna con altri strumenti, per esempio gli interferometri, avremmo visioni totalmente differenti.

**7.11 Brevi cenni e principi di neuroscienze** "Il fine che le neuroscienze si prefiggono è quello di comprendere l'attività mentale, cioè i meccanismi attraverso i quali riusciamo ad avere percezioni, ci muoviamo e siamo in grado di ricordare" sostiene Eric R. Kandel (*Principi di Neuroscienze*, Ambrosiana 1994) uno dei maggiori esperti in neuroscienze, attualmente esistenti. Il fine può essere articolato in quattro quesiti di carattere generale:

- (i) come si sviluppa il sistema nervoso centrale?
- (ii) in quale modo le cellule del sistema nervoso comunicano tra loro?



**042** La associazione dei moduli periferici con il braccio. Il modulo periferico, che consta di strato di sensori, elementi dinamici e reti periferiche, viene assemblato all'interno di un simbolico braccio.

- (iii) mediante quali meccanismi, sistemi di interconnessioni diversi generano atti percettivi e motori differenti?
- (iv) come vengono modificati dall'esperienza questi sistemi di interconnessione?

Nell'ultimo decennio del XX secolo, questi argomenti, pertinenti alla biologia cellulare, possono essere attaccati sotto nuove angolazioni scientifiche: è infatti diventata realtà affrontare questi problemi direttamente a livello molecolare.