

# Panorama e prospettive dell'approccio dinamico in scienza cognitiva

Marco Giunti

Alophis – Applied Logic, Philosophy and History of Science  
Dipartimento di Scienze Pedagogiche e Filosofiche, Università di Cagliari  
e-mail: giunti@unica.it

1. Introduzione: genesi dell'approccio dinamico
2. Diverse tendenze all'interno dell'approccio dinamico
3. L'unificazione mancata di Van Gelder
4. Dinamicismo vs computazionalismo puro: approcci dinamico, simbolico e connessionista
5. Il simulazionismo come dogma metodologico della scienza cognitiva
6. L'alternativa dinamica al simulazionismo: la metodologia Galileiana
7. La prospettiva di una scienza cognitiva programmaticamente Galileiana

**Appendice.** Sistemi dinamici, fenomeni e modelli Galileiani

SOMMARIO. In questo articolo ripercorreremo prima di tutto alcune tappe significative della genesi e del successivo sviluppo dell'approccio dinamico alla scienza cognitiva, a partire dall'inizio degli anni novanta. In particolare, cercheremo di mettere in luce come, fin dall'inizio, questo approccio abbia in realtà incluso diverse tendenze, soltanto parzialmente unificate dall'uso di modelli, metodi e concetti che, in senso lato, possono ricondursi alla teoria matematica dei sistemi dinamici. Cercheremo poi di chiarire il rapporto fra l'approccio dinamico e i due approcci alternativi più importanti, simbolico e connessionista. La tesi che sosterremo è che gran parte delle tendenze che ricadono sotto l'etichetta di approccio dinamico si differenzia sia dall'approccio simbolico che da quello connessionista da due punti di vista: (i) per il riconoscimento dell'*analisi dinamica dei modelli* come condizione necessaria delle spiegazioni di molti fenomeni cognitivi e (ii) per il conseguente abbandono del computa-

zionalismo come quadro di riferimento sufficiente per tali spiegazioni. Tuttavia, metteremo anche in luce un aspetto di sostanziale *continuità metodologica* fra i tre approcci, ovvero l'assunzione del *simulazionismo* come metodologia fondamentale. Nella parte finale del saggio verrà analizzata criticamente proprio questa assunzione, mettendo in luce come tale scelta metodologica implichi una sostanziale debolezza epistemologica della scienza cognitiva. Concluderemo infine l'articolo sostenendo che l'assunzione programmatica di una metodologia alternativa, comunemente utilizzata nella modellizzazione dinamica di molti fenomeni (fisici, biologici, economici ecc.), può aprire per la scienza cognitiva la possibilità di un superamento di tale debolezza epistemologica, se non in generale, almeno per quanto riguarda la descrizione e spiegazione di *alcuni tipi* di fenomeni cognitivi.

PAROLE CHIAVE: modelli dinamici; modello Galileiano; dinamicismo; computazionalismo; simulazionismo.

## 1. Introduzione: genesi dell'approccio dinamico

Le origini dell'approccio dinamico in scienza cognitiva possono essere ricondotte ad almeno cinque diverse linee di ricerca che risalgono fino alla metà del secolo scorso, ma che soltanto all'inizio degli anni novanta hanno cominciato a trovare una parziale unificazione metodologica e concettuale.

L'evento che, molto verosimilmente, può essere identificato con la vera e propria nascita di ciò che oggi è comunemente noto come "approccio dinamico" è la Indiana University Conference on Dynamic Representation in Cognition, che si svolse a Bloomington dal 14 al 17 novembre 1991 per iniziativa di un gruppo di filosofi, linguisti e psicologi dell'Indiana University, fra i quali Tim Van Gelder, Robert Port, Esther Thelen e James Townsend.<sup>1</sup>

Come sottolineato da Van Gelder e Port (1995), le radici più remote dell'approccio dinamico possono rintracciarsi nella *cibernetica* della fine degli anni quaranta e degli anni cinquanta. In effetti, "l'idea che la dinamica potesse fornire un quadro generale per una scienza unitaria della cognizione fu la

---

<sup>1</sup> In tutto questo saggio, quando il nome di un autore è citato senza uno specifico riferimento bibliografico, si intende che lavori esemplificativi delle ricerche di tale autore possono essere agevolmente reperiti nei seguenti volumi: Smith e Thelen (1993), Thelen e Smith (1994), Van Gelder e Port (1995), Kelso (1995), Tschacher e Dauwalder (2003).

base di uno dei più importanti libri di quel periodo, *Design for a Brain* (Ashby 1952)” (Van Gelder e Port 1995, p. 37).

Una seconda fonte che ha largamente contribuito alla disseminazione di idee dinamiche nel campo della ricerca cognitiva è la *teoria delle reti neurali*, i cui primi sviluppi risalgono agli anni cinquanta-sessanta. Successivamente, risultò particolarmente importante “il lavoro del gruppo di Stephen Grossberg che, in un contesto connessionista, applicò idee dinamiche a un ampio spettro di diverse funzioni cognitive” (*ibidem*). A questo riguardo, Van Gelder e Port hanno espressamente riconosciuto:

siccome le reti connessioniste sono sistemi dinamici, fu inevitabile che strumenti dinamici divenissero importanti per la comprensione del loro comportamento e, quindi, della natura delle funzioni cognitive. La recente rapida affermazione dell'approccio dinamico è perciò dovuta, in larga misura, a questa rinascita del connessionismo e al suo sviluppo in una direzione dinamica (*ibidem*).

Una terza fonte è costituita da una linea di ricerca che ha cominciato ad applicare allo studio del comportamento di sistemi biologici, e in particolare della coordinazione motoria, concetti e principi dinamici originariamente sviluppati nell'ambito della fisica. Tali studi rientrano a tutti gli effetti nel campo della scienza cognitiva in quanto comprendono anche varie abilità motorie e percettive degli esseri umani. Fra gli esponenti più noti di questa linea di ricerca possiamo ricordare Michael T. Turvey, Peter N. Kugler e J. A. Scott Kelso.

Una quarta fonte deriva direttamente da alcuni sviluppi della teoria matematica dei sistemi dinamici e, in particolare, dalle applicazioni della teoria delle biforcazioni o della teoria delle catastrofi di René Thom allo studio del linguaggio e, più in generale, delle strutture cognitive. Uno dei principali esponenti di questa tradizione di ricerca è Jean Petitot.

Infine, varie ricerche di tipo dinamico si sono sviluppate anche a partire dall'approccio ecologico di James J. Gibson alla psicologia della percezione. Secondo Gibson, il fattore chiave per un'adeguata spiegazione della percezione è la struttura dell'informazione già presente nello stimolo, e non tanto l'elaborazione di esso da parte di meccanismi interni. Queste intuizioni di Gibson sono state riprese e sviluppate utilizzando metodi dinamici, che permettono di descrivere formalmente la struttura dell'informazione sottostante a vari processi percettivi e motori. Fra gli esponenti di questa tendenza possiamo per esempio ricordare Geoffrey P. Bingham.

## 2. Diverse tendenze all'interno dell'approccio dinamico

Come abbiamo visto nel paragrafo precedente, l'approccio dinamico si costituì all'inizio degli anni novanta alla confluenza di diverse tradizioni di ricerca sulla cognizione, le quali utilizzavano modelli, metodi e concetti in senso lato riconducibili alla teoria matematica dei sistemi dinamici. Dando ora uno sguardo di insieme allo sviluppo successivo, dagli anni novanta fino a oggi, possiamo distinguere in esso almeno quattro distinte tendenze che, in modi diversi e interrelati, si ricollegano alle cinque tradizioni del periodo originario.

La prima tendenza può essere convenientemente indicata con l'etichetta di *connessionismo dinamico*. Secondo questa posizione i modelli che meglio descrivono i fenomeni cognitivi sono le reti neurali, ma il comportamento di tali reti non può essere compreso se non analizzando la loro *dinamica*, anche attraverso adeguati strumenti matematici. Fra l'altro, ciò significa che i processi cognitivi non possono essere visti, semplicemente, come *computazioni*. Al contrario, il concetto centrale nell'analisi dei modelli connessionisti e, conseguentemente, nella spiegazione dei fenomeni cognitivi da essi descritti, diviene quello di *evoluzione dinamica*. Ciò è tanto più vero quanto più le reti utilizzate si discostano dalla semplice architettura di un *feed-forward network*. Infatti, sebbene tutte le reti neurali siano sistemi dinamici, il funzionamento di un *feed-forward network* si presta naturalmente anche a un'analisi in termini computazionali; questo tipo di analisi, però, diviene molto meno informativo già per semplici *recurrent network* a tempo discreto, per non parlare poi delle reti interattive completamente continue (cioè, continue sia riguardo al tempo che ai livelli di attivazione delle singole unità). “On the Proper Treatment of Connectionism” (Smolensky 1988) può essere considerato una sorta di manifesto del connessionismo dinamico, ma in questa tendenza rientrano a pieno titolo anche altri autorevoli esponenti dell'approccio connessionista, fra i quali possiamo per esempio ricordare Grossberg, Elman e Pollack.

La seconda tendenza, che possiamo denominare *modellizzazione dinamica a poche dimensioni*, utilizza come modelli vari tipi di sistemi dinamici (continui, semicontinui, discreti, deterministici, probabilistici) caratterizzati però da alcuni tratti comuni. In primo luogo, gran parte di questi modelli sono specificati o mediante sistemi di equazioni differenziali ordinarie o mediante sistemi di equazioni alle differenze finite, a seconda che l'evoluzione temporale sia supposta continua o discreta.

A prima vista, anche le reti neurali sembrerebbero quindi rientrare in questo tipo di modello, perché la variazione del livello di attivazione di una *generica* unità della rete è anch'essa specificata da un'equazione (differenziale o al-

le differenze finite) e, conseguentemente, la dinamica di *tutta* la rete è descritta da un sistema di equazioni (i) tutte della stessa forma e (ii) in numero pari al numero delle unità della rete. Tuttavia, nei modelli a poche dimensioni la singola equazione *non rappresenta* la variazione del livello di attivazione di una generica unità di una rete e quindi le condizioni (i) e (ii) non sono di solito rispettate. Inoltre, proprio a causa di (ii), lo spazio degli stati di una rete neurale ha naturalmente un numero molto elevato di dimensioni, mentre il numero delle dimensioni in questo tipo di modelli è spesso molto basso, nell'ordine di poche unità, o perfino di una sola.

Secondo, ciascuna dimensione (o *componente*) dello spazio degli stati ha tipicamente una specifica *interpretazione*, che la fa corrispondere a una ben precisa proprietà, o *grandezza*, del fenomeno cognitivo o, più in generale, del sistema reale (naturale o artificiale) descritto dal modello. Non in tutti i modelli a poche dimensioni le grandezze corrispondenti alle componenti sono misurabili, ma in alcuni modelli (si veda per esempio Van Geert 1995) lo sono certamente – se non tutte, almeno alcune. Se alcune grandezze sono misurabili, la corrispondenza fra il modello e il fenomeno *non è una simulazione*, più o meno fedele, di alcuni aspetti (quantitativi o qualitativi) del fenomeno stesso da parte di aspetti simili del modello stesso, ma è invece una puntuale corrispondenza quantitativa fra le serie temporali misurate di una o più grandezze e le serie temporali previste dal modello.

Ciò che è importante notare qui non è tanto il carattere quantitativo della corrispondenza (anche le simulazioni sono spesso in grado di fornire ottime corrispondenze quantitative con i dati sperimentali) ma, piuttosto, che questa corrispondenza quantitativa si situa al livello delle *componenti di base* o, *costitutive*, della dinamica del modello stesso, mediante le *grandezze* che interpretano ciascuna dimensione dello spazio degli stati. Si contrasti questo tipo di relazione con il modo in cui un modello connessionista simula un fenomeno cognitivo. Anche supposto che la simulazione sia molto accurata, non c'è alcuna corrispondenza fra le componenti di base del modello connessionista e il fenomeno stesso. Infatti, ciascuna di tali componenti rappresenta il livello di attivazione di una singola unità (neurone artificiale) del modello ma, ovviamente, tale livello di attivazione non ha nessuna interpretazione sul fenomeno descritto. Piuttosto, l'interpretazione del modello avviene a un livello *più elevato* o *superficiale* della sua dinamica, per esempio a quello di un particolare attrattore, che magari rappresenta il raggiungimento di un certo livello di prestazione in un compito assegnato (come il riconoscimento o la classificazione di un dato input).

Come detto, non in tutti i modelli a poche dimensioni le grandezze che interpretano le componenti sono misurabili. A seconda di quante lo siano e dei

metodi più o meno diretti di misurazione, tali modelli risultano più o meno nettamente distinguibili dai *modelli di simulazione* tipici sia dell'approccio connessionista che di quello simbolico. A titolo di esempio, riportiamo una nostra valutazione (in effetti molto grossolana e aperta a revisioni) di quanto alcuni gruppi di modelli a poche dimensioni siano più o meno nettamente distinguibili dai modelli di simulazione. Mettendo per primi i modelli più nettamente distinguibili, otteniamo il seguente ordinamento: (1) i modelli della crescita cognitiva di Van Geert; (2) vari modelli relativi alla coordinazione, al controllo motorio e alle abilità percettive elaborati da Turvey, Carello, Kelso, Saltzman e altri; (3) i modelli dei processi di decisione (*Decision Field Theory*) di Townsend e Busemeyer; (4) i modelli degli agenti autonomi di Beer.

La terza tendenza, che possiamo denominare *descrizione dinamica di dati senza modelli*, è quella esemplificata da una serie di studi di Esther Thelen, Linda Smith e altri (Smith e Thelen 1993; Thelen e Smith 1994) sullo sviluppo cognitivo e motorio. Spesso, nello studio di fenomeni cognitivi piuttosto complessi, i dati a disposizione non permettono la costruzione di modelli adeguati. Tuttavia, un uso attento di concetti e metodi propri della teoria matematica dei sistemi dinamici può permettere di estrarre importanti aspetti qualitativi (ma a volte anche quantitativi) dai dati disponibili. Per esempio, negli studi condotti da Esther Thelen sullo sviluppo della capacità di raggiungere e afferrare oggetti, i movimenti adeguati sono concettualizzati come particolari attrattori che, a un certo stadio di sviluppo, caratterizzano lo spazio dei possibili movimenti. Questi attrattori emergono via via che la dinamica si modifica sotto l'influenza di parametri quali la pratica delle azioni stesse e la crescita corporea.

Possiamo infine denominare la quarta tendenza *interpretazione cognitiva di strutture dinamiche*. Come nella tendenza precedente, anche in questa non si tratta di costruire *modelli* dinamici, ma di utilizzare, più o meno direttamente, la *teoria matematica* dei sistemi dinamici per la descrizione o spiegazione di particolari aspetti della cognizione. Tuttavia, mentre nella tendenza precedente, l'utilizzo della teoria è strettamente vincolato dai dati disponibili – e quindi si può parlare di una direzione della ricerca che va dai dati alla teoria –, in questa tendenza la direzione è rovesciata, in quanto si parte direttamente dalla teoria matematica, che permette di costruire una serie di strutture dinamiche, e si dà poi a queste strutture una particolare interpretazione di tipo cognitivo, anche in mancanza di dati empirici che supportino più o meno direttamente tale interpretazione. Questa tendenza è la più speculativa delle quattro prese qui in considerazione ed è esemplificata dalle ricerche di Jean Petitot sulla costruzione di strutture linguistiche (sia sintattiche che semantiche) mediante l'approccio morfodinamico di René Thom.

### 3. L'unificazione mancata di Van Gelder

Abbiamo visto nel paragrafo precedente come l'approccio dinamico sia in realtà composto da diverse tendenze, soltanto parzialmente unificate dall'uso di modelli, metodi e concetti che, in senso lato, possono ricondursi alla teoria matematica dei sistemi dinamici. Tuttavia, negli anni novanta, Tim Van Gelder tentò di unificare queste diverse tendenze avanzando la proposta dell'*ipotesi dinamica* (*Dynamical Hypothesis – DH*). Nelle sue intenzioni, questa ipotesi avrebbe dovuto assumere lo stesso ruolo fondante che l'*ipotesi del sistema simbolico fisico* di Newell e Simon (Newell e Simon 1972, 1976; Newell 1980) aveva avuto per l'approccio simbolico. L'ipotesi dinamica fu esposta da Van Gelder nel 1998 in un noto "articolo bersaglio" (*target article*) di *Behavioral and Brain Sciences*. Contro le aspettative dell'autore, però, la proposta non riuscì a suscitare il consenso sperato, e anche alcuni degli stessi sostenitori di posizioni dinamiche, specialmente fra i connessionisti, non risparmiarono a Van Gelder critiche piuttosto corrosive e tutto sommato ingenerose. Senza addentrarci troppo in una ricostruzione dei vari motivi che scatenarono questa sorta di fuoco amico contro l'ipotesi dinamica, ci preme però rilevare come essa in effetti presentasse diversi punti deboli, che possiamo così sintetizzare.

Con l'ipotesi dinamica Van Gelder tentò di definire un particolare *tipo di modello*, da lui denominato *quantitativo*, che avrebbe dovuto caratterizzare l'approccio dinamico e risultare ben distinto sia dai modelli simbolici dell'approccio classico che da quelli connessionisti non dinamici. Tuttavia, come messo in evidenza da diversi commentatori, fra i quali anche Randy Beer, la definizione di Van Gelder risulta troppo poco elaborata, ed è perciò sostanzialmente incapace di delineare un tipo di modello che rappresenti una chiara alternativa ai modelli simbolici o a quelli connessionisti. Inoltre, l'ipotesi dinamica non chiarisce sufficientemente quali siano i vantaggi che potrebbero derivare dall'utilizzo di un modello dinamico quantitativo invece di uno simbolico o connessionista.

Abbiamo visto nel paragrafo 2 che, sul piano metodologico del rapporto fra oggetto di indagine e costruito teorico, l'approccio dinamico oscilla fra almeno quattro diverse posizioni. Per i connessionisti dinamici, tale rapporto è quello tipico della modellizzazione con le reti neurali, ovvero, il modello permette di *simulare*, in modo più o meno fedele, alcuni aspetti ritenuti significativi del fenomeno indagato. Per i sostenitori dei modelli a poche dimensioni, invece, il rapporto di elezione è quello tipico della modellizzazione dinamica, ovvero, una corrispondenza fra serie temporali (misurate e previste) di valori

di grandezze, dove ciascuna di tali grandezze costituisce l'interpretazione di una delle componenti del modello. Per la descrizione dinamica di dati si tratta invece di far vedere come i dati a disposizione possano essere inseriti in quadri concettuali tratti dalla teoria matematica dei sistemi dinamici. Infine, per l'interpretazione di strutture dinamiche, il rapporto fra oggetto di indagine e costruito teorico non comporta una vera e propria considerazione di dati empirici, ma soltanto la possibilità di costruire plausibili e significative interpretazioni cognitive di strutture matematiche astratte.

Quale di queste quattro metodologie è quella preferita o, per così dire, "ufficiale" dell'approccio dinamico? O nessuna di queste è sufficiente e una nuova metodologia unificata, una specie di sintesi di tutte e quattro, dovrebbe essere adottata? O forse dovrebbe essere sviluppata una via intermedia? L'ipotesi dinamica di Van Gelder non dà alcuna risposta a queste domande, che però sono cruciali se l'approccio dinamico vuole trasformarsi in un programma di ricerca realmente unitario e non rimanere una somma piuttosto estrinseca di tendenze simili, ma sostanzialmente indipendenti.

#### 4. Dinamicismo vs computazionalismo puro: approcci dinamico, simbolico e connessionista

Che cosa c'è di nuovo e *più caratteristico* nell'approccio dinamico? È possibile cristallizzarne un nucleo metodologico che possa fornirgli un'identità forte, paragonabile a quella dei due approcci principali della scienza cognitiva, simbolico e connessionista? Da quanto abbiamo visto nei paragrafi precedenti, se tale nucleo esiste, non può certamente aspirare a includere *tutti* i diversi aspetti o tendenze dell'approccio dinamico; il tentativo di Van Gelder è infatti fallito proprio perché rivolto a conciliare *troppi* elementi eterogenei, peraltro senza indicare una vera e propria base metodologica comune.

Lasciando per il momento aperta la risposta a questa domanda, è però possibile enucleare un'ipotesi metodologica molto generale, ma non per questo meno significativa, che è certamente sottoscrivibile (ed è di fatto, seppur solo implicitamente, sottoscritta) da gran parte delle diverse componenti dell'approccio dinamico. Questa ipotesi, che denominiamo *dinamicismo*, può essere così formulata:

[D] Molti fenomeni cognitivi non sono adeguatamente spiegabili se non si analizza la *dinamica* di opportuni modelli di tali fenomeni.



È abbastanza evidente che il dinamicismo sia accettabile dai connessionisti dinamici e anche dai sostenitori della modellizzazione a poche dimensioni. Infatti, da un lato, il connessionismo dinamico [CD] non è nient'altro che una specificazione di [D]; tale specificazione consiste semplicemente nel sostituire “modelli” con “modelli connessionisti”:

[CD] Molti fenomeni cognitivi non sono adeguatamente spiegabili se non si analizza la *dinamica* di opportuni modelli *connessionisti* di tali fenomeni.

Dall'altro, per quanto riguarda la modellizzazione a poche dimensioni, l'analisi dinamica è certamente un ingrediente necessario per gran parte delle spiegazioni che si basano su questo tipo di modelli.

Per quanto riguarda invece la descrizione dinamica di dati e l'interpretazione di strutture dinamiche, non è altrettanto evidente che per queste tendenze [D] sia accettabile. O, per lo meno, [D] non è certamente esemplificato nella loro pratica di ricerca perché, come abbiamo visto, essa non fa ricorso a modelli. Tuttavia, non possiamo escludere che anche molti dei sostenitori di queste due tendenze non sottoscrivano [D], se non come principio metodologico concreto, almeno come ideale normativo.

È importante notare che il dinamicismo è inconsistente con la seguente formulazione del computazionalismo, che denominiamo *computazionalismo puro* [CP]:

[CP] Ogni fenomeno cognitivo è adeguatamente spiegabile se si analizzano *soltanto* le *computazioni* che si verificano in opportuni modelli di tale fenomeno.

D'altra parte, il computazionalismo puro è certamente implicato dall'ipotesi del sistema simbolico fisico o, più in generale, da una qualsiasi formulazione standard dei capisaldi teorici dell'approccio simbolico. Per quanto riguarda invece l'approccio connessionista, bisogna distinguere fra connessionismo *computazionale* e *dinamico*. L'interpretazione computazionale del connessionismo è certamente molto diffusa e non è azzardato dire che essa sottenda molte delle formulazioni più influenti di tali posizioni, per esempio quelle ormai classiche di Rumelhart e McClelland (1986). Il connessionismo computazionale [CC] può essere espresso nel seguente modo:

[CC] Ogni fenomeno cognitivo è adeguatamente spiegabile se si analizzano *soltanto* le *computazioni* parallele e distribuite che si verificano in opportuni modelli connessionisti di tale fenomeno.

È quindi chiaro che [CP] segue logicamente da [CC], essendo il secondo una specificazione del primo. Possiamo perciò concludere che il dinamicismo [D], essendo inconsistente con il computazionalismo puro [CP], è sufficiente a distinguere gran parte dell'approccio dinamico sia dall'approccio simbolico che da quello connessionista computazionale.

Si noti infine che, sebbene il dinamicismo sia inconsistente con il computazionalismo puro, è però ovviamente compatibile con forme più deboli, o impure, di computazionalismo. Per esempio, quella che si ottiene da [CP] sostituendo “ogni” con “qualche”, o un'altra, ancora più debole, che afferma che l'analisi computazionale dei modelli è necessaria per la spiegazione di alcuni fenomeni cognitivi.

## 5. Il simulazionismo come dogma metodologico della scienza cognitiva

Abbiamo visto che gran parte dell'approccio dinamico risulta distinto dall'approccio simbolico e dal connessionismo computazionale in quanto accetta il dinamicismo [D] e, conseguentemente, rifiuta il computazionalismo puro [CP]; da un altro punto di vista, però, c'è una forte omogeneità metodologica nella pratica della modellizzazione di tutti e tre questi approcci. Tale omogeneità scaturisce dal fatto che essi condividono tacitamente un'ipotesi metodologica molto generale; questa ipotesi, che denominiamo *simulazionismo*, può essere così formulata:

[S] Ogni fenomeno cognitivo è adeguatamente spiegabile sulla base di opportuni *modelli di simulazione* del fenomeno stesso.

Notiamo prima di tutto che, a differenza del dinamicismo [D] o del computazionalismo puro [CP], il simulazionismo non prescrive un tipo di *analisi dei modelli* a cui le spiegazioni dei fenomeni cognitivi dovrebbero conformarsi ma, piuttosto, un tipo di *modello* su cui tali analisi dovrebbero poi essere condotte. Essendo il tipo di modello proposto molto generale (*modello di simulazione* – si veda la definizione sotto), esso include sia modelli simbolici che connessionisti e anche, almeno in linea di principio, modelli dinamici a poche dimensioni. Proprio per questa ragione il simulazionismo, anche se originariamente è stato uno dei principi metodologici fondanti dell'approccio simbolico, è oggi un principio trasversale, comune a tutti i più importanti approcci della scienza cognitiva. Spesso esso è tanto più radicato quanto più la sua accettazione non è esplicita e cosciente, ma tacita e scontata, tanto che a volte anche modelli che

di fatto *non sono* modelli di simulazione vengono però presentati dai loro stessi autori come se lo fossero (un esempio abbastanza chiaro dell'operare di questa "falsa coscienza metodologica" può essere trovato in Van Geert 1995).

Per comprendere più in dettaglio il significato di [S] è opportuno tenere sempre presente il seguente schema della *metodologia simulazionista*. Dato un certo fenomeno cognitivo  $H$ , esso determina un ambiente con un relativo compito  $C_H$  (*task-environment*  $C_H$ ); si tratta quindi di (i) elaborare un modello  $M$  che, una volta implementato su un normale calcolatore digitale, permetta al calcolatore di eseguire il compito  $C_H$  in modo rilevantemente simile a come lo eseguirebbe un essere umano o, più in generale, a come lo eseguirebbe un reale agente cognitivo  $A$ ; (ii) formulare l'ipotesi che alcuni dei processi caratteristici del modello  $M$  corrispondano in misura adeguata ai reali processi cognitivi che stanno alla base della prestazione (performance) dell'agente  $A$  relativamente al compito  $C_H$ ; (iii) ricercare appropriati dati sperimentali che permettano di confermare o smentire tale ipotesi; (iv) accettare o rigettare l'ipotesi a seconda dei dati conseguiti.

Infine, si tenga presente che un *modello di simulazione di un fenomeno cognitivo*  $H$  può essere definito come un qualunque modello  $M$  che soddisfi le ipotesi (i) e (ii). Conseguentemente, l'esito positivo/negativo del metodo della simulazione consiste nell'accettare/rifutare che  $M$  sia un modello di simulazione di  $H$ .

## **6. L'alternativa dinamica al simulazionismo: la metodologia Galileiana**

I modelli di simulazione costituiscono il paradigma dominante nella scienza cognitiva. Tuttavia, a causa della loro costituzione, i modelli di simulazione hanno forti limitazioni epistemologiche, sia al livello della *descrizione* dei dati relativi a uno specifico fenomeno, che a quello della loro *spiegazione*.

Il limite descrittivo riguarda la corrispondenza fra dati simulati e dati reali, che non è diretta e intrinseca al modello ma, al più, indiretta ed estrinseca. Infatti, un modello di simulazione non incorpora proprietà misurabili (grandezze) del fenomeno reale fra le sue componenti di base; al contrario la corrispondenza è ottenuta a un livello più superficiale e globale, ovvero fra i dati simulati relativi ad alcuni processi tipici del modello e i dati reali relativi al fenomeno in questione.

Il limite esplicativo riguarda la qualità delle spiegazioni basate su modelli di simulazione. Tipicamente, esse non sono né compiute né realistiche, ma so-

no invece spiegazioni in linea di principio che fanno spesso ricorso anche a entità o processi chiaramente fittizi. Questo secondo limite, come d'altra parte anche il primo, dipende dal fatto che le componenti di base di un modello di simulazione non corrispondono direttamente ad aspetti reali del fenomeno indagato.<sup>2</sup> Di conseguenza, qualsiasi spiegazione basata sull'analisi di un tale modello è irrimediabilmente destinata a introdurre una serie di elementi fittizi che non hanno alcun corrispettivo nel fenomeno reale.

Questi due limiti epistemologici tipici dei modelli di simulazione sono agevolmente superati da un tipo di modello dinamico (*modello Galileiano*) comunemente utilizzato nella modellizzazione di molti fenomeni naturali e sociali (fisici, biologici, economici ecc.). I modelli Galileiani, così chiamati (Giunti 1995, 1997) perché fu Galileo che per primo li utilizzò sistematicamente per render conto dell'oscillazione di un pendolo, della caduta libera di un grave, del moto su un piano inclinato e del lancio di un proiettile, sono sistemi dinamici (discreti o continui, reversibili o irreversibili) il cui spazio degli stati ha  $n$  ( $1 \leq n$ ) dimensioni o componenti. Il punto fondamentale è che ciascuna componente ha un'interpretazione precisa e definita, in quanto essa è identificata con l'insieme dei possibili valori di una grandezza del fenomeno reale che il modello descrive. Alcune di queste  $n$  grandezze (ma non necessariamente tutte) sono *misurabili* e, rispetto a queste, il modello risulta *empiricamente corretto*, nel senso che tutte le misurazioni di tali grandezze corrispondono (entro i limiti di precisione delle misurazioni stesse) ai valori previsti dal modello.<sup>3</sup>

È chiaro che, a causa della loro costituzione, i modelli Galileiani sono in grado di superare i limiti descrittivi ed esplicativi tipici dei modelli di simulazione. Infatti, in primo luogo, la descrizione dei dati è diretta e intrinseca, in quanto ciascuna componente del modello determina i valori di una specifica grandezza del fenomeno descritto. Secondo, le spiegazioni supportate da questo tipo

---

<sup>2</sup> Si potrebbe obiettare che, almeno per quanto riguarda i modelli simbolici, i processi computazionali e le strutture di dati che li caratterizzano non sono affatto arbitrari, ma hanno invece una chiara e puntuale interpretazione relativamente ai fenomeni cognitivi descritti da tali modelli. Possiamo concordare con questa affermazione, ma essa non dimostra affatto che le *componenti di base* di tali modelli corrispondano ad aspetti reali dei fenomeni indagati. Al contrario, siccome un qualsiasi modello simbolico non è nient'altro che il *sistema dinamico* implicitamente specificato da un programma, ciò significa proprio che l'interpretazione del modello, in quanto si limita soltanto a *parti del programma*, non ha niente a che vedere con le componenti di base del modello stesso, ovvero, con le componenti dello spazio degli stati di tale sistema.

<sup>3</sup> Una definizione più rigorosa del concetto di *modello Galileiano* è possibile, ma essa presuppone un chiarimento preliminare delle due nozioni di *sistema dinamico* e *fenomeno* (dinamico). Per questo si rimanda all'Appendice.

di modello sono compiute e realistiche; infatti, siccome ciascuna componente del modello corrisponde a una ben precisa grandezza del fenomeno reale, qualsiasi spiegazione basata sull'analisi di tale modello non può introdurre alcun elemento fittizio o arbitrario. Per queste ragioni, chiunque sia interessato al miglioramento dei risultati della scienza cognitiva, sia al livello descrittivo che a quello esplicativo, dovrebbe prendere in seria considerazione la prospettiva di costruire modelli Galileiani di fenomeni cognitivi (Giunti 1995, 1997, 2005).

## **7. La prospettiva di una scienza cognitiva programmaticamente Galileiana**

Abbiamo visto nel paragrafo precedente che la metodologia Galileiana è, almeno in linea di principio, in grado di fornire alla scienza cognitiva l'opportunità di superare la debolezza epistemologica insita nella metodologia simulazionista. La domanda che sorge spontanea è allora se, a oggi, questa sia soltanto una possibilità teorica o se non sia in qualche modo già supportata da una pratica di ricerca consolidata. La risposta a questa domanda deve prendere in considerazione diversi aspetti.

Come già notato nel paragrafo 2, la modellizzazione dinamica a poche dimensioni utilizza molto raramente veri e propri modelli di simulazione, e alcuni dei modelli proposti all'interno di questa tendenza sono certamente modelli Galileiani. Di fatto, la metodologia Galileiana è quella che meglio si accorda con il tipo di indagine portato avanti da questa tendenza, ma ciò non è stato ancora adeguatamente sottolineato o riconosciuto esplicitamente, probabilmente per due ordini di motivi.

Da un lato, come già notato, a causa della pervasività e persistenza del dogma simulazionista, anche alcuni modelli che non sono di simulazione, ma a tutti gli effetti Galileiani, si presentano invece travestiti in guisa simulazionista, rendendo in effetti difficile il riconoscimento della novità e del vero valore di queste ricerche per il miglioramento della scienza cognitiva.

Dall'altro, i modelli Galileiani, come al momento definiti, non riescono a includere *tutti* i tipi di modelli utilizzati nella modellizzazione a poche dimensioni. Per esempio, alcuni di questi modelli sono di tipo probabilistico e quindi non rientrano fra i modelli Galileiani, perché questi ultimi sono tutti sistemi dinamici deterministici. Dunque, per poter includere tutti o almeno gran parte dei modelli utilizzati da questa tendenza, il concetto di modello Galileiano dovrebbe essere generalizzato, in modo da sussumere almeno alcuni fra i tipi più diffusi di modelli probabilistici.

Tuttavia, anche limitandoci a modelli deterministici, i modelli Galileiani si sono già dimostrati utili per la descrizione accurata e la spiegazione di *alcuni tipi* di fenomeni cognitivi. Fra essi, possiamo ricordare i fenomeni riguardanti la *crescita cognitiva*, studiati da Van Geert, o i fenomeni riguardanti la *coordinazione motoria* studiati, fra gli altri, da Turvey e Kelso. Un altro tipo di fenomeno cognitivo che è molto probabilmente descrivibile in modo accurato mediante modelli di tipo Galileiano è quello dei fenomeni di *computazione umana*, ovvero, tutti quei fenomeni cognitivi che riguardano l'esecuzione di calcoli con carta e penna (Giunti 2009).<sup>4</sup>

## Appendice

### Sistemi dinamici, fenomeni e modelli Galileiani

#### *Sistemi dinamici*

Un sistema dinamico è un tipo di modello matematico che esprime formalmente l'idea di un sistema deterministico arbitrario, reversibile o irreversibile, con tempo o spazio degli stati discreto o continuo. Siano  $Z$  gli interi,  $Z^+$  gli interi non negativi,  $R$  i reali e  $R^+$  i reali non negativi; quella sotto è la definizione esatta di un sistema dinamico.

- [1] *DS* è un sistema dinamico sse *DS* è una coppia  $(M, (g^t)_{t \in T})$  tale che:
1.  $M$  è un insieme non vuoto;  $M$  rappresenta tutti i possibili stati del sistema ed esso è chiamato lo *spazio degli stati*;
  2.  $T = Z, Z^+, R$  o  $R^+$ ;  $T$  rappresenta il tempo del sistema ed è chiamato l'*insieme tempo*; ogni  $t \in T$  è detta una *durata* del sistema;
  3.  $(g^t)_{t \in T}$  è una famiglia di funzioni da  $M$  a  $M$ ; per ogni  $t \in T$ , la funzione  $g^t$  è detta la *transizione di stato di durata t*, o il *t-avanzamento*, del sistema;
  4. per ogni  $v, t \in T$ , per ogni  $x \in M$ ,  $g^0(x) = x$  e  $g^{v+t}(x) = g^v(g^t(x))$ .
- [2] Un *sistema dinamico discreto* è un sistema dinamico il cui spazio degli stati è finito o numerabile e il cui insieme tempo è  $Z$  o  $Z^+$ ; esempi di si-

---

<sup>4</sup> Per ampliare ulteriormente il panorama delle diverse tendenze dell'approccio dinamico, si vedano Ward (2002) e Schöner (2008). Per la prospettiva di un approccio Galileiano in scienza cognitiva e il rapporto con le posizioni computazionaliste si vedano Giunti (1992, 1996, 1998) e Giunti e Giuntini (2007). Per un'aggiornata sintesi dei diversi tipi di modellizzazione in scienza cognitiva si veda McClelland (2009).

stemi dinamici discreti sono le macchine di Turing e gli automi cellulari (con un numero finito di stati non quiescenti).

- [3] Un *sistema dinamico continuo* è un sistema dinamico che non è discreto; esempi di sistemi dinamici continui sono le iterazioni di funzioni su  $R$  e i sistemi specificati da equazioni differenziali ordinarie.

### *Fenomeni*

In generale, un *fenomeno*  $H$  può essere pensato come una coppia  $(F, B_F)$  composta di due elementi distinti. Il primo elemento  $F$  è una *descrizione funzionale* di (i) un tipo astratto di sistema reale  $AS_F$  e (ii) uno schema spazio-temporale generale  $CS_F$  delle sue interazioni causali; in particolare, la descrizione funzionale del sistema astratto  $AS_F$  specifica i suoi elementi strutturali (o parti funzionali), la loro organizzazione e le relazioni reciproche, mentre la descrizione funzionale dello schema causale  $CS_F$  specifica le condizioni *iniziali* dell'evoluzione di  $AS_F$ , le condizioni ulteriori durante tutta l'evoluzione successiva (condizioni *al contorno*) e, eventualmente, le condizioni sotto le quali l'evoluzione di  $AS_F$  termina (condizioni *finali*). Il secondo elemento  $B_F$  è l'insieme di tutti i sistemi concreti di tipo  $AS_F$  che soddisfano anche lo schema di interazioni causali  $CS_F$  o, il che è lo stesso,  $B_F$  è l'insieme di tutti i sistemi reali che soddisfano la descrizione funzionale  $F$ ;  $B_F$  è detto il *dominio di applicazione*<sup>5</sup> del fenomeno  $H$ .

Per esempio, sia  $H_{e\phi} = (F_{e\phi}, B_{Fe\phi})$  il fenomeno della caduta libera di un corpo di media grandezza in prossimità della terra, dove  $\phi \in [0, \psi]$  è un parametro reale non negativo il cui significato è spiegato sotto (d'ora in poi chiameremo  $H_{e\phi}$  *il fenomeno della caduta libera*). In questo caso, la descrizione funzionale  $F_{e\phi}$  è la seguente. Il tipo astratto di sistema reale  $AS_{Fe\phi}$  ha un solo elemento strutturale, ovvero, un corpo di media grandezza in prossimità della terra. Lo schema di interazioni causali  $CS_{Fe\phi}$  consiste nel (i) rilasciare il corpo a un istante arbitrario e con una velocità e posizione *puramente verticali* (relativamente alla superficie terrestre), in modo tale che il corpo colpisca la superficie terrestre a un qualche istante successivo e l'altezza massima raggiunta dal corpo non sia superiore a  $\phi$ ; (ii) durante tutto il moto del corpo, l'unica forza agente su di esso è il suo peso; (iii) il moto termina esattamente quando il corpo colpisce la super-

---

<sup>5</sup> Siccome la descrizione funzionale  $F$  di norma contiene un certo numero di idealizzazioni, nessun sistema reale o concreto  $RS$  soddisfa *esattamente*  $F$  ma, piuttosto, la soddisfa soltanto fino a un certo grado. Perciò, da un punto di vista formale, il dominio di applicazione  $B_F$  di un fenomeno  $H = (F, B_F)$  sarebbe meglio descritto come un insieme fuzzy.

ficie terrestre. Infine,  $B_{F_{e\phi}}$  è l'insieme di tutti i corpi reali di media grandezza in prossimità della terra che soddisfano il dato schema di interazioni causali. Un qualsiasi corpo appartenente a  $B_{F_{e\phi}}$  è detto un *grave (in caduta libera)*.

### Modelli Galileiani

Per ogni  $i$  ( $1 \leq i \leq n$ ), sia  $X_i$  un insieme non vuoto e  $DS = (M, (g^t)_{t \in T})$  sia un sistema dinamico il cui spazio degli stati  $M$  sia incluso nel prodotto cartesiano  $X_1 \times \dots \times X_n$ ; per ogni  $i$ , l'insieme  $C_i = \{x_i; \text{ per qualche } n\text{-upla } x \in M, x_i \text{ è l}'i\text{-esimo elemento di } x\}$  è detto *l' $i$ -esima componente di  $M$* . Un'interpretazione  $I_H$  di  $DS$  su un fenomeno  $H$  consiste nell'identificare ciascuna componente  $C_i$  con l'insieme di tutti i possibili valori di una grandezza  $M_i$  del fenomeno  $H$ , e l'insieme tempo  $T$  con l'insieme dei possibili valori del tempo  $T$  dello stesso  $H$ . Un'interpretazione  $I_H$  di  $DS$  su  $H$  è *empirica* se il tempo  $T$  e alcune delle grandezze  $M_i$  sono proprietà misurabili del fenomeno  $H$ . Una coppia  $(DS, I_H)$ , dove  $DS$  è un sistema dinamico con  $n$  componenti e  $I_H$  è un'interpretazione di  $DS$  su  $H$ , è detta un *modello del fenomeno  $H$* . Se l'interpretazione  $I_H$  è empirica, allora  $(DS, I_H)$  è un *modello empirico di  $H$* . Tale modello è detto *empiricamente corretto* se, per ogni grandezza misurabile  $M_i$ , tutte le misurazioni di  $M_i$  sono consistenti con i corrispondenti valori  $x_i$  determinati da  $DS$ . Un modello empiricamente corretto di  $H$  è anche chiamato un *modello Galileiano di  $H$*  (Giunti 1995; 1997, cap. 3). Infine, un *modello Galileiano* è un qualsiasi modello empiricamente corretto di qualche fenomeno.

A titolo di esempio, consideriamo il seguente sistema di due equazioni differenziali ordinarie  $\langle dy(t)/dt = \dot{y}(t), d\dot{y}(t)/dt = -g \rangle$ , dove  $g$  è una costante reale positiva. Le soluzioni di tali equazioni determinano univocamente il sistema dinamico  $DS_e = (Y \times \dot{Y}, (g^t)_{t \in T})$ , dove  $Y = \dot{Y} = T = R$  (i numeri reali) e, per ogni  $t, y, \dot{y} \in R$ ,  $g^t(y, \dot{y}) = (-gt^2/2 + \dot{y}t + y, -gt + \dot{y})$ . È immediato verificare che  $DS_e$  soddisfa la Definizione [1].

Consideriamo adesso nuovamente il fenomeno della caduta libera  $H_{e\phi}$  e interpretiamo la prima componente  $Y$  dello spazio degli stati di  $DS_e$  come l'insieme di tutti i possibili valori della *posizione verticale* di un grave arbitrario, la seconda componente  $\dot{Y}$  come l'insieme di tutti i possibili valori della *velocità verticale* del grave<sup>6</sup> e l'insieme tempo  $T$  di  $DS_e$  come l'insieme di tutti i possibili valori del *tempo fisico*. Sia  $I_{H_{e\phi}}$  questa interpretazione. Siccome tutte

---

<sup>6</sup> Per ogni grave  $a$ , se  $p_a$  è il punto dove  $a$  è inizialmente rilasciato, la posizione e la velocità verticali di  $a$  si intendono riferite a un asse con origine nel centro della terra che passa per  $p_a$ ; il verso positivo di tale asse è quello che va dal centro della terra al punto  $p_a$ .



e tre le grandezze considerate sono proprietà misurabili del fenomeno della caduta libera  $H_{e\phi}$ , in base alle definizioni precedenti,  $I_{H_{e\phi}}$  è un'interpretazione empirica di  $DS_e$  su  $H_{e\phi}$  e  $(DS_e, I_{H_{e\phi}}) = DS_{e\phi}$  è un modello empirico di  $H_{e\phi}$ .  $DS_{e\phi}$  è detto *il modello della caduta libera*. Se  $\phi$  è sufficientemente piccolo e per un valore appropriato della costante  $g$ , tale modello risulta anche empiricamente corretto<sup>7</sup> ed è quindi un esempio di modello Galileiano.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ASHBY, William Ross (1952): *Design for a Brain*, London: Chapman & Hall.
- GIUNTI, Marco (1992): *Computers, Dynamical Systems, Phenomena and the Mind*, Ph.D. dissertation, Bloomington (Ind.): Indiana University; pubblicata da University Microfilms Inc., Ann Arbor (Mich.): numero d'ordine UMI: 9301444.
- (1995): “Dynamical Models of Cognition”, in Port e Van Gelder (a cura di) (1995, pp. 549-571).
- (1996): “Beyond Computationalism”, in Garrison W. Cottrel (a cura di), *Proceedings of the 18<sup>th</sup> Annual Conference of the Cognitive Science Society* Mahwah (N.J.): L. Erlbaum Associates, pp. 71-75.
- (1997): *Computation, Dynamics, and Cognition*, New York: Oxford University Press.
- (1998): “Is Computationalism the Hard Core of Cognitive Science?”, in Vito M. Abrusci, Carlo Cellucci, Roberto Cordeschi e Vincenzo Fano (a cura di), *Prospettive della logica e della filosofia della scienza: Atti del convegno triennale della Società Italiana di Logica e Filosofia delle Scienze, Roma, 3-5 gennaio 1996*, Pisa: Edizioni ETS, pp. 255-267.
- (2005): “Dal simulazionismo al paradigma Galileiano”, in *Atti del XIX Congresso Nazionale dell'Associazione Italiana di Psicologia, sez. di Psicologia Sperimentale, Cagliari, 18-20 settembre 2005*, Cagliari: AIP.
- (2009): “Bidimensional Turing Machines as Galilean Models of Human Computation”, in Gianfranco Minati, Mario Abram e Eliano Pessa (a cura di), *Processes of Emergence of Systems and Systemic Properties: Towards a General Theory of Emergence*, Singapore: World Scientific, pp. 383-423.

---

<sup>7</sup> Ovviamente, se  $g = \text{accelerazione di gravità standard}$  ( $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ ), il modello della caduta libera  $DS_{e\phi} = (DS_e, I_{H_{e\phi}})$  risulta empiricamente corretto entro limiti di precisione sufficienti per molti scopi pratici, supposto che il parametro  $\phi$  sia sufficientemente piccolo.

- GIUNTI, Marco e GIUNTINI, Roberto (2007): “Macchine, calcolo e pensiero”, in Stefano Mancini (a cura di), *Sguardi sulla scienza dal giardino dei pensieri*, Milano: Mimesis, pp. 39-67.
- KELSO, J. A. Scott (1995): *Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behavior*, Cambridge (Mass.): The MIT Press.
- MCCLELLAND, James L. (2009): “The Place of Modeling in Cognitive Science”, *Topics in Cognitive Science*, 1, pp. 11-38.
- NEWELL, Allen (1980): “Physical Symbol Systems”, *Cognitive Science*, 4, pp. 135-183.
- NEWELL, Allen e SIMON, Herbert (1972): *Human Problem Solving*, Englewood Cliffs (N.J.): Prentice Hall.
- (1976): “Computer Science as Empirical Enquiry: Symbols and Search”, *Communications of the Association for Computing Machinery*, 19, pp. 113-126.
- PORT, Robert F. e VAN GELDER, Timothy J. (a cura di) (1995): *Mind as Motion: Explorations in the Dynamics of Cognition*, Cambridge (Mass.): The MIT Press.
- RUMELHART, David E. e MCCLELLAND, James L. (a cura di) (1986): *Parallel Distributed Processing*, 2 voll., Cambridge (Mass.): The MIT Press.
- SCHÖNER, G. (2008): “Dynamical Systems Approaches to Cognition”, in R. Sun (a cura di), *Cambridge Handbook of Computational Psychology*, New York: Cambridge University Press, pp. 101-126.
- SMITH, Linda B. e THELEN, Esther (a cura di) (1993): *A Dynamic Systems Approach to Development*, Cambridge (Mass.): The MIT Press.
- SMOLENSKY, Paul (1988): “On the Proper Treatment of Connectionism”, *Behavioral and Brain Sciences*, 11, pp. 1-74.
- THELEN, Esther e SMITH, Linda B. (1994): *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action*, Cambridge (Mass.): The MIT Press.
- TSCHACHER, Wolfgang e DAUWALDER, Jean-Pierre (a cura di) (2003): *The Dynamical Systems Approach to Cognition*, Singapore: World Scientific.
- VAN GEERT, Paul (1995): “Growth Dynamics in Development”, in Port e Van Gelder (a cura di) (1995, pp. 313-337).
- VAN GELDER, Timothy J. (1998): “The Dynamical Hypothesis in Cognitive Science”, *Behavioral and Brain Sciences*, 21, pp. 615-665.
- VAN GELDER, Timothy J. e PORT, Robert F. (1995): “It’s about Time: An Overview of the Dynamical Approach to Cognition”, in Port e Van Gelder (a cura di) (1995, pp. 549-571).
- WARD, Lawrence M. (2002): *Dynamical Cognitive Science*, Cambridge (Mass.): The MIT Press.