

Applicazioni della Teoria dei Sistemi alla Psicoterapia¹

Antonio Tiano², Claudio Ingrams³, Roberta Frison⁴

Scopo di questo capitolo è di effettuare una analisi del ruolo che la Teoria dei Sistemi ha svolto e può svolgere in Psicoterapia, e più in generale nelle scienze umane. Verranno evidenziati, tramite una analisi storico-epistemologica, i limiti e le possibilità di alcuni approcci proposti nel corso degli ultimi anni.

1. Introduzione

Un sistema può essere, semplicemente, definito come un insieme di componenti, connessi ed interagenti tra loro, le cui caratteristiche variano nel tempo in base a specifiche leggi di evoluzione. Anche se questa definizione si applica essenzialmente ai sistemi dinamici, è immediato riconoscere che include anche i sistemi statici, cioè quei sistemi le cui caratteristiche si mantengono rigorosamente costanti nel tempo, i quali sono appunto un particolare sottoinsieme dei sistemi dinamici. Naturalmente, pur non essendo affatto questa definizione la più generale, ci consente di descrivere classi di sistemi appartenenti al mondo reale sufficientemente vaste e rappresentative. Se facciamo, infatti, riferimento alla nostra esperienza quotidiana è facile verificare che esistono numerosi oggetti reali, di tipo assai diverso, ai quali la definizione precedente può essere applicata. Basti pensare, ad esempio, a sistemi fisici, biologici, economici, ambientali, tecnologici che intervengono nella nostra vita quotidiana. Sistemi, appunto, costituiti da infinite possibili combinazioni di componenti diversi, che risultano tali da essere finalizzati ad uno stesso scopo o inquadrati da un punto di vista unitario e sono caratterizzati da specifiche leggi di evoluzione temporale.

L'interesse principale della teoria dei sistemi consiste nello studio dei modi in cui le caratteristiche dei sistemi reali si modificano nel tempo. Tale studio viene sviluppato evidenziando le proprietà generali comuni a sistemi di tipo diverso, con l'obiettivo di determinare uno schema concettuale unitario che consenta di comprendere, prevedere e controllare il comportamento dei sistemi.

Per meglio precisare questo approccio, supponiamo che le leggi di evoluzione di un dato sistema dinamico si possano interpretare in base a due distinti gruppi di variabili che, schematicamente, chiameremo ingressi manipolabili e uscite misurabili del sistema. Gli ingressi sono interpretabili come cause dell'evoluzione temporale delle uscite, che ne rappresentano quindi gli effetti. In un contesto psicologico, gli ingressi sono interpretabili come stimoli, mentre le uscite assumono il significato di risposte. In base a questo approccio è possibile riguardare, in modo assolutamente schematico, un sistema dinamico come un blocco o una scatola nera stimolata da un insieme di variabili di ingresso, alla cui azione corrisponde la risposta di un insieme di variabili di uscita, come illustrato in Fig. 1



Fig. 1 : Rappresentazione ingresso/uscita di un sistema dinamico

Comprendere il comportamento del sistema significa, in questo contesto, determinare un insieme di leggi matematiche che stabiliscano una relazione di causa/effetto tra gli ingressi e le uscite. Ciò corrisponde a

¹ In: Mauro Mariotti Fabio Bassoli Roberta Frison, Manuale di Psicoterapia Sistemica e Relazionale, Edizioni Sapere, Padova 2004.

² Professore Associato di Automatica presso la facoltà di Ingegneria della Università di Pavia.

³ Fisico, docente di elettronica e sistemi all'IPSIA "F. Corni" di Modena. Professore a contratto di GPRS-1 (Gestione e programmazione per reti e siti e Tutor nel sistema FAD di "Laurea On Line in Comunicazione e Marketing" presso il corso di Laurea in Scienze della Comunicazione, Università di Modena e Reggio Emilia.

⁴ Psicologa, Psicoterapeuta. Professore a contratto A.A. 2002-2003 di *Psicologia delle Comunicazioni* al corso di laurea in "Scienze della Programmazione Sanitaria" della Facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università di Modena e Reggio Emilia; Didatta-Coordiatore dell'Istituto Modenese di Psicoterapia Sistemico-Relazionale ISCRA; Docente alla Scuola di Specializzazione in Criminologia Universite Europeenne Jean Monnet – Bruxelles, Sede italiana: Istituto ETAI, Padova, Direttrice di Master Planning in Struttura Intermedia per Adolescenti.

determinare un modello matematico per il sistema. Basta riflettere un attimo per realizzare che un analogo meccanismo di comprensione della realtà è comune a tutte le attività cognitive. Una volta determinato un modello matematico sufficientemente adeguato per il sistema, resta univocamente determinata anche la possibilità di prevedere quale sarà il valore delle uscite ad un dato istante di tempo compreso tra l'istante attuale ed un qualsiasi istante futuro, in risposta ad uno specifico valore delle variabili di ingresso ed alle condizioni iniziali. Ad esempio, se si disponesse di un modello matematico descrittivo della evoluzione temporale di una data psicopatologia, sarebbe in linea di principio possibile usare tale modello per predire l'evoluzione della patologia in corrispondenza di assegnati trattamenti terapeutici e, conseguentemente decidere quale sia il miglior trattamento terapeutico in relazione ad una patologia accertata su un dato paziente. Questa ben nota proprietà è tipica dei sistemi deterministici, nei quali cioè ad ogni istante di tempo si conosca esattamente sia la forma del modello matematico che il valore di tutte le variabili di ingresso e di uscita. Tuttavia, questa situazione non è quasi mai verificata in realtà, in quanto tutte le grandezze la cui misura sia il risultato di osservazioni sperimentali risultano corrotte da errori di natura aleatoria. Spesso, poi, il modello matematico che descrive il comportamento dinamico del sistema reale è conosciuto con un margine di incertezza, sia rispetto alla forma del modello che rispetto al valore dei parametri che vi compaiono. Un modo molto semplice per tener conto di tutte le incertezze agenti sul sistema consiste nell'ammettere l'esistenza di un gruppo di variabili, dette disturbi, non direttamente misurabili ne' manipolabili, agenti sul sistema in modo del tutto indipendente sia dagli ingressi manipolabili che dalle uscite. Una rappresentazione di un tale sistema, mostrata in Fig. 2, fa derivare l'impossibilità di determinare una perfetta conoscenza delle relazioni matematiche esistenti tra ingressi e uscite dalla presenza dei disturbi.

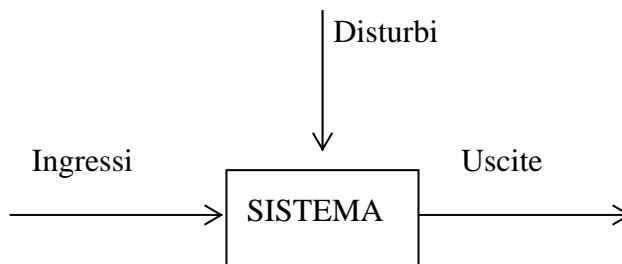


Fig. 2 : Rappresentazione ingresso/uscita/disturbo

Se si assume che i disturbi siano descrivibile in termini statistici per mezzo di un processo stocastico, cioè di una famiglia di variabili aleatorie dipendenti dal tempo, si dice che il sistema dinamico è un sistema stocastico. In questo caso la determinazione delle uscite, noti gli ingressi e le proprietà statistiche dei disturbi, si traduce in un problema di predizione statistica, in quanto anche l'uscita risulta essere un processo stocastico. Questo approccio presenta il vantaggio di conseguire una strutturazione della incertezza in termini statistici tramite le densità di probabilità dei disturbi.

Dato un sistema dinamico, spesso si pone il problema della possibile utilizzazione degli ingressi in modo tale da far sì che le uscite assumano un andamento temporale il più possibile vicino a quello di un prefissato insieme di variabili di riferimento, indipendentemente dalla presenza dei disturbi. E' questo un problema di controllo, la cui soluzione spesso implica la determinazione di un sistema dinamico, detto controllore, che collegato in cascata al sistema soggetto a controllo realizza il minimo scostamento tra uscite effettive e variabili di riferimento. Il sistema dinamico costituito dalla combinazione "controllore + sistema soggetto a controllo", illustrato in Fig. 3, viene semplicemente chiamato sistema di controllo. Il particolare sistema di controllo illustrato è del tipo in retroazione, in cui cioè il controllore determina il valore degli ingressi manipolabili in funzione di misure dirette sia delle variabili di riferimento che delle uscite effettive del sistema. Un tale schema di controllo presenta il vantaggio, rispetto ad altri possibili schemi, di poter meglio prevenire gli effetti indesiderati provocati dai disturbi agenti sul sistema, in quanto il loro eventuale effetto risulta continuamente monitorato e compensato dal controllore.

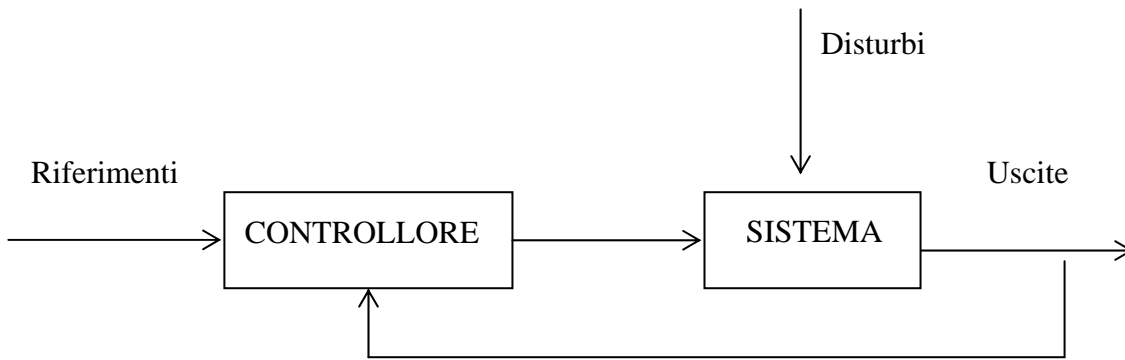


Fig. 3 : Rappresentazione di un sistema di controllo

Dal punto di vista metodologico, è opportuno osservare che le specifiche problematiche connesse con la progettazione dei sistemi di controllo sono, generalmente, studiate nell'ambito della Automatica, mentre lo studio delle proprietà generali collegate alle caratteristiche dinamiche dei sistemi di controllo ricadono nell'ambito della Teoria dei Sistemi. Ad esempio in alcune applicazioni di psicoterapia si possono ipotizzare sistemi di controllo utilizzando somministrazioni di psicofarmaci. Occorre precisare che in questi casi è necessario procedere con estrema cautela, in quanto la strategia di controllo va sempre tarata in relazione alle specificità proprie del soggetto e, inoltre, il meccanismo di retroazione non è istantaneo ma agisce sempre con un ritardo temporale non trascurabile.

2. Inquadramento storico e metodologico

Può essere utile inquadrare la teoria dei sistemi nell'ambito dello scenario tecnologico nel quale tale disciplina si è prevalentemente sviluppata per rispondere a precisi problemi tecnici ed in uno scenario metodologico costituito dalle idee di base e dalle principali metodologie utilizzate.

L'ambiente in cui si è inizialmente sviluppata la teoria dei sistemi è principalmente quello della ingegneria, in particolare dei controlli automatici, della teoria delle comunicazioni, dell'elettronica e dell'elettrotecnica, in relazione alla soluzione di molteplici problemi di tipo tecnologico-industriale. Nel corso degli ultimi decenni, tale disciplina è stata applicata con successo anche in molti altri settori più vicini alle scienze umane. Schematicamente, possiamo delineare alcune significative tappe storiche connesse con l'evoluzione della teoria dei sistemi.

1930: Studio della stabilità di circuiti elettrici contenenti tubi a vuoto. In particolare, Bode e Nyquist hanno definito ed analizzato semplici ma efficaci modelli matematici per affrontare questo specifico problema.

1940: Formulazione e soluzione di problemi relativi alla guida ed al controllo di aerei e sistemi d'arma. Modellizzazione di sistemi di comunicazione. Notevoli sono stati i contributi di Wiener, che ha introdotto in modo sistematicamente rigoroso il concetto di retroazione (feedback).

1950: Enunciazione da parte di von Bertalanffy della teoria generale dei sistemi, con la quale si cerca di unificare, tramite un approccio multidisciplinare, biologia, chimica-fisica, filosofia, psichiatria e sociologia.

1960: Prime ricerche e realizzazioni in campo aerospaziale. Kalman pone le basi matematiche della moderna teoria dei sistemi, introducendo le rappresentazioni dei sistemi dinamici tramite modelli a spazio degli stati.

1970: Applicazioni della teoria dei sistemi al campo biomedico, economico ed ambientale.

La tecnologia elettronica, la disponibilità di veloci e potenti calcolatori e lo sviluppo di adeguate metodologie matematiche hanno consentito di risolvere problemi di notevole difficoltà tecnica.

1990: L'interesse principale è rivolto allo studio di sistemi caratterizzati da strutture e comportamenti complessi.

Particolarmente rilevanti risultano le applicazioni orientate ai sistemi adattativi e intelligenti, cioè capaci di apprendere, autoorganizzarsi e prendere decisioni. Sono in piena fase di sviluppo nuove metodologie matematiche ed informatiche, riguardanti le reti neurali ed i sistemi a logica fuzzy.

3. Modelli matematici

Il punto di partenza della teoria dei sistema e' costituito dal concetto di modello matematico di un sistema appartenente al mondo reale, di cui possiamo fornire la seguente definizione.

Def. 1. Il modello matematico di un sistema appartenente al mondo reale è costituito da un insieme di relazioni matematiche per mezzo delle quali è possibile caratterizzare il comportamento del sistema con riferimento ad un dato insieme di condizioni di funzionamento dello stesso.

Vi sono innumerevoli esempi di modelli matematici in grado di descrivere il comportamento di altrettanti sistemi del mondo reale; basta pensare a modelli di tipo fisico, chimico, economico, psicologico, politico, etc. Come si vedrà nel seguito, la scelta del modello matematico da associare ad un sistema reale non è quasi mai univoca, ma dipende da molteplici fattori, di cui il più importante è riconducibile agli scopi per i quali il modello viene determinato.

Def. 2 Due o più modelli matematici sono isomorfi se possono essere posti in corrispondenza biunivoca in modo tale che le relazioni definite sugli elementi di uno valgano anche per i corrispondenti elementi degli altri.

Osserviamo che un isomorfismo tra modelli induce un isomorfismo tra i sistemi reali da essi descritti. In altri termini, due sistemi reali possono essere riguardati come concettualmente isomorfi se entrambi possono essere descritti dallo stesso modello matematico, come illustrato nella Fig. 4.

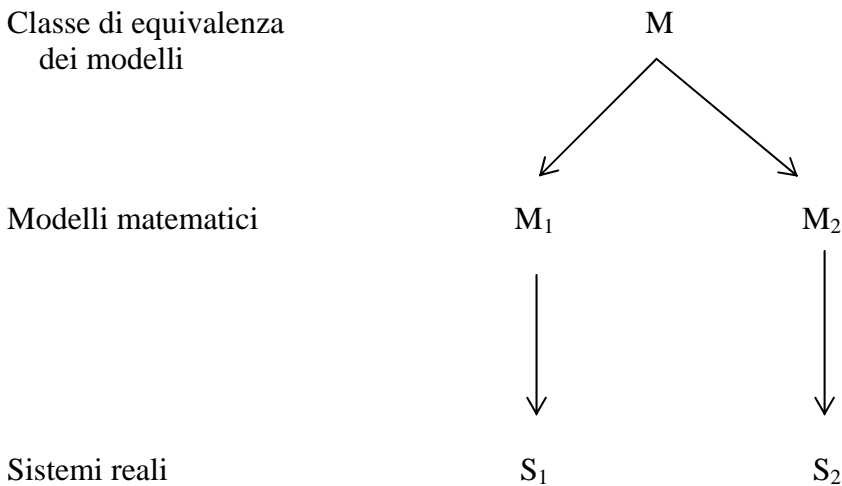


Fig. 4 : Isomorfismo tra due modelli matematici

Questo risultato è, dal punto di vista concettuale, estremamente importante, in quanto consente di sostituire allo studio di un sistema reale quello del suo modello matematico appartenente ad una opportuna classe di equivalenza. Una conseguenza altrettanto importante è, poi, costituita dal fatto che è possibile, in base a tale risultato, estendere le conoscenze acquisite su di un sistema reale a tutti i sistemi reali ad esso isomorfi. Si delinea così un meccanismo unitario di comprensione della realtà che presenta innumerevoli vantaggi sia metodologici che pratici rispetto alla frammentazione della conoscenza ed alla separazione oggi esistente tra le varie discipline tecniche, scientifiche ed umanistiche.

La principale caratteristica connessa con l'approccio sistemistico consiste nel fatto che le proprietà dinamiche dei sistemi del mondo reale possono essere dedotte tramite lo studio delle corrispondenti proprietà dei modelli matematici di tali sistemi, per i quali si assumerà valida la Def. 1. Come evidenziato in precedenza, l'isomorfismo tra modelli matematici consente di studiare i sistemi dinamici in una prospettiva effettivamente interdisciplinare che facilita il trasferimento di conoscenze tra settori diversi.

Stabilita l'importanza dei modelli matematici, ha senso, quindi, porsi il problema di come si possa costruire un modello matematico, inteso come una descrizione più o meno approssimata di un sistema reale. Osserviamo, preliminarmente, che non esiste un modo canonico per costruire un modello matematico; può essere utile, piuttosto, procedere tenendo conto dei seguenti fattori:

- i) conoscenza a-priori (teorico-sperimentale)
- ii) scopi del modello
- iii) rapporto accuratezza/complessità

La conoscenza che si ha a-priori di un sistema è costituita, in generale e nel migliore dei casi, da un insieme di teorie dette anche leggi di evoluzione, che sono il risultato di approssimazioni ottenute isolando alcuni componenti del sistema dalle restanti parti e trascurando alcuni effetti considerati secondari, quali ad esempio l'interazione con l'ambiente esterno. Le teorie, a loro volta, non sono affatto entità immutabili, in quanto tendono, in tempi più o meno lunghi, a modificarsi per poter tener conto di nuovi risultati sperimentali o in vista di nuove applicazioni. Gli scopi del modello vanno posti in relazione all'uso che se ne vuole fare. Si possono così avere modelli il cui scopo è la ricerca, la terapia, la produzione industriale, la didattica, lo sviluppo di programmi per calcolatore, etc.

E' decisamente importante, dal punto di vista applicativo, il punto iii). Spesso, infatti, sono necessarie diverse assunzioni semplificative per limitare la complessità del modello entro limiti matematicamente trattabili. La riduzione di complessità, tuttavia, tende a degradare l'accuratezza del modello: è quindi necessario, in generale, conseguire un ragionevole compromesso tra questi due fattori. Un procedimento per determinare un modello matematico può essere articolato secondo lo schema a blocchi illustrato in Fig. 5.

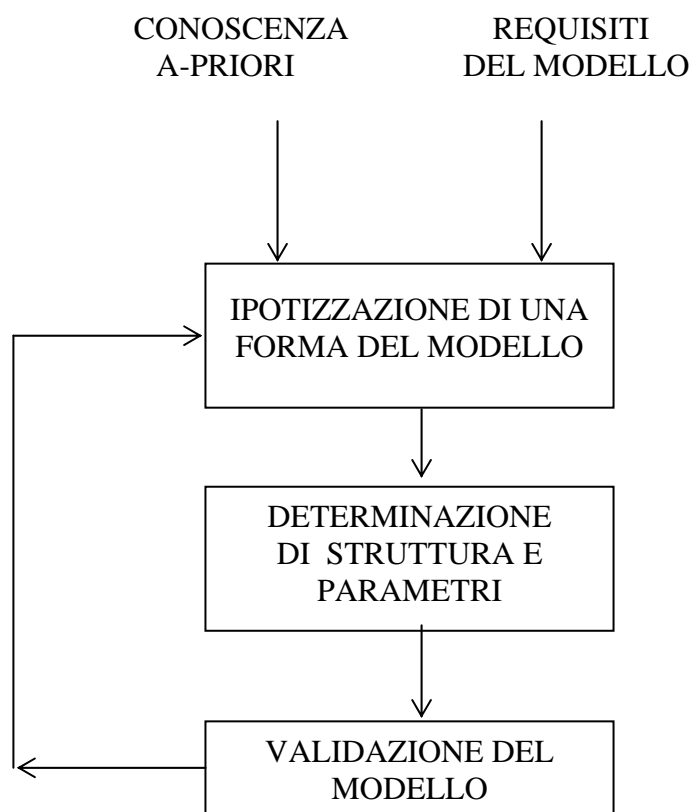


Fig. 5: Procedura di modellizzazione

La procedura di modellizzazione può essere riguardata come una combinazione di varie fasi di cui la prima è costituita dalla ipotizzazione, sulla base della conoscenza a-priori, di una opportuna forma del modello matematico. Qualora, come in molte situazioni applicative, la conoscenza a-priori risulti inadeguata, come estrema risorsa è necessario ricorrere all'arte dell'immaginazione. Nella seconda fase si tenta di determinare, utilizzando anche eventuali informazioni di tipo sperimentale, la struttura ed il valore numerico dei parametri che intervengono nel modello. Se si assume, ad esempio, che la forma del modello sia costituita da una equazione differenziale non lineare, una possibile struttura può essere rappresentata dall'ordine di tale equazione e/o dalla caratterizzazione delle nonlinearità in essa presenti, mentre i parametri del modello sono i valori numerici e le relazioni funzionali tra i coefficienti che compaiono nell'equazione. Questa fase viene anche chiamata identificazione.

La fase di validazione del modello, infine, consiste in un confronto tra i valori per le variabili di uscita del sistema reale e del modello nel caso in cui entrambi siano soggetti alle stesse variabili di ingresso ed alle stesse condizioni iniziali. A tale scopo è spesso conveniente ricorrere a tecniche di simulazione.

In generale un modello matematico può essere caratterizzato da due attributi fondamentali: struttura e parametri. La struttura è in relazione con la particolare legge di evoluzione temporale del sistema, quindi col tipo di equazione descrivente tale legge; i parametri sono particolari valori assunti da alcune grandezze presenti in tali equazioni. Lo strumento fondamentale, introdotto da Newton, per descrivere matematicamente un processo evolutivo nello spazio-tempo è costituito dalle equazioni differenziali, cioè da relazioni in cui alcune variabili variano rispetto allo spazio ed al tempo. Una prima classificazione può essere fatta in base all'attributo strutturale costituito dal tipo di derivate con cui le variabili di ingresso/ uscita compaiono nelle equazioni descrittive tale modello. Se le proprietà del sistema dipendono da una sola variabile indipendente, generalmente costituita dal tempo, si hanno equazioni differenziali alle derivate ordinarie, mentre se si ha una dipendenza da un insieme di variabili indipendenti, generalmente il tempo più altre variabili spaziali, si hanno equazioni differenziali alle derivate parziali. Si hanno così due famiglie fondamentali di modelli: a parametri concentrati e a parametri distribuiti.

Nei modelli a parametri concentrati si suppone che le proprietà essenziali del sistema si possano ritenere indipendenti dalla posizione, in quanto concentrate in una singola posizione rappresentativa del

comportamento dinamico del sistema, come ad esempio il baricentro nel movimento di un corpo rigido. Tutte le volte in cui tale assunzione non risulti adeguata, è necessario ricorrere ad un modello a parametri distribuiti. La differenza fondamentale tra queste due famiglie di modelli è data dal fatto che l'analisi matematica ed il calcolo delle soluzioni dei sistemi a parametri distribuiti risulta notevolmente più complicata e, salvo casi particolari, richiede l'uso di potenti e veloci calcolatori. Ciò spiega perché la maggior parte delle applicazioni della teoria dei sistemi sono state sviluppate utilizzando modelli a parametri concentrati.

Facciamo riferimento a sistemi dinamici descrivibili da modelli a parametri concentrati, deterministici, a tempo-continuo, corrispondenti ad una rappresentazione a blocchi del tipo illustrata in Fig. 1, le cui leggi di evoluzione siano espresse da equazioni differenziali ordinarie. Una rappresentazione abbastanza conveniente si può fare in base alle relazioni esprimenti il legame esistente tra le diverse variabili che caratterizzano l'evoluzione temporale del sistema. In base a tale caratterizzazione possiamo distinguere:

- variabili esterne che connettono il sistema al mondo esterno, costituite da ingresso manipolabile e uscita. Supporremo che tutte queste grandezze siano vettori di dimensione opportuna dipendenti dal tempo.
- variabili interne che esprimono le relazioni esistenti tra ingresso e uscita, costituite dalle variabili di stato.

Le variabili di stato devono, ad ogni istante di tempo, riassumere in sé tutta l'informazione sulla storia passata del sistema necessaria a determinare, unitamente alla conoscenza delle variabili di ingresso, il comportamento futuro delle variabili di uscita. La scelta delle variabili di stato in un sistema dinamico è, in generale, arbitraria. E' tuttavia importante osservare che tali variabili spesso si possono associare ad elementi fisici in grado di accumulare o trasformare energia o altre grandezze equivalenti, quali la quantità di risorse materiali o virtuali. Il concetto di energia consente, infatti, di inquadrare in modo unitario fenomeni fisici di tipo diverso e di descrivere anche le varie trasformazioni che l'energia subisce durante i processi evolutivi. Supponiamo di poter rappresentare un sistema dinamico tramite le seguenti equazioni:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= f(x(t), u(t), t) \\ y(t) &= g(x(t), u(t), t)\end{aligned}\tag{1}$$

Si tratta di una equazione differenziale accoppiata ad una equazione algebrica. La prima equazione, detta equazione di stato, descrive l'evoluzione del vettore di stato $x(t)$ per effetto del vettore di ingresso $u(t)$ e del valore dello stato al tempo iniziale; la seconda, detta trasformazione di uscita, descrive il meccanismo di misura delle variabili di uscita in funzione delle variabili di stato e di ingresso. Le equazioni (1) equivalgono a decomporre il sistema in due parti: una parte statica descritta dalla relazione algebrica che collega l'uscita con lo stato e l'ingresso e una parte dinamica che collega lo stato con il suo valore all'istante iniziale e con l'ingresso.

Una rappresentazione particolarmente interessante si ha quando le funzioni vettoriali f e g della (1) risultano lineari rispetto ai loro argomenti, cioè quando valgono le relazioni:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= A(t)x(t) + B(t)u(t) \\ y(t) &= C(t)x(t) + D(t)u(t)\end{aligned}\tag{2}$$

dove $A(t)$, $B(t)$, $C(t)$, $D(t)$ sono matrici aventi dimensioni opportune.

Un modello lineare rappresenta una approssimazione di un modello non lineare e comporta innanzitutto il vantaggio di consentire un calcolo notevolmente più semplice della soluzione. Vi sono, inoltre, altre

significative semplificazioni nella determinazioni di importanti proprietà strutturali, quali la stabilità, la controllabilità e la osservabilità.

La stabilità esprime la tendenza del sistema ad allontanarsi o a ritornare, dopo aver subito una perturbazione, in prossimità degli stati di equilibrio. Dove per stati di equilibrio si intendono gli stati in cui non vi sia tendenza al movimento. Per controllabilità si intende la possibilità di utilizzare le variabili di ingresso al fine di modificare in modo arbitrario i valori delle variabili di stato. L'osservabilità, infine, consente di utilizzare una serie di valori delle variabili di ingresso e di uscita per poter stimare il valore delle variabili di stato, spesso non accessibili dall'esterno.

4. Applicazioni alle discipline psicologiche: possibilità e limiti

La teoria dei sistemi ha rappresentato indubbiamente uno schema concettuale molto importante nello studio dei processi psicologici e della psicoterapia. Innanzitutto ha consentito di ipotizzare alcune fondamentali relazioni di causa/effetto tra le principali variabili che intervengono in tali processi. Poi, tramite i meccanismi di isomorfismo tra modelli ha reso possibile la determinazione di semplici modelli generati da analogie con processi di tipo fisico. Tuttavia è necessario riconoscere che non sono stati ancora conseguiti risultati veramente importanti né dal punto di vista di un sostanziale miglioramento della conoscenza dei processi psichici né dal punto di vista delle applicazioni cliniche.

Cerchiamo di riassumere in modo schematico le principali cause di questo relativo insuccesso. Innanzitutto, a differenza di altri processi fisici o biologici, i processi psichici sono caratterizzati da una notevole complessità, rispetto alla quale la conoscenza a-priori accumulata nel corso di questo secolo risulta ancora insufficiente. Si tratta, infatti, prevalentemente di una conoscenza di tipo descrittivo e qualitativo, che difficilmente si traduce in relazioni di tipo quantitativo ed in modelli matematici. Inoltre, i modelli matematici fin qui presi in considerazione, risultano essere troppo semplici rispetto alla complessità dei processi che si vogliono studiare.

A questo proposito, è importante osservare che i modelli matematici dei sistemi dinamici usati dalla teoria dei sistemi sono basati sulla meccanica Newtoniana e sul concetto riduzionista di sistema isolato, cioè di un sistema avulso dall'ambiente esterno, le cui proprietà possono essere dedotte in funzione delle proprietà dei suoi componenti. Il limite principale del punto di vista Newtoniano è, quindi, rappresentato dal fatto che esso è basato sulla rappresentazione dei fenomeni naturali e dei sistemi in termini delle interazioni, generalmente lineari, tra componenti elementari. La ricerca scientifica si riduce così alla determinazione di rapporti causali tra le componenti del sistema stesso. Infatti, le principali scoperte della Fisica del secolo da poco trascorso, la teoria della relatività e la meccanica quantistica, hanno avuto un impatto nullo sulla nostra visione dei fenomeni quotidiani. D'altra parte i grandi successi della meccanica Newtoniana, ad esempio in astronomia, la hanno resa un oggetto naturale da cui dedurre isomorfismi da applicare a modelli propri delle discipline umanistiche.

Vi è, tuttavia, un paradosso che ha obbligato ad abbandonare l'ipotesi riduzionista. Tale paradosso concerne l'applicazione della seconda legge della termodinamica, che prevede un aumento generale di entropia per tutti i fenomeni, inclusi quelli del mondo vivente, per i quali, invece si osserva generalmente una diminuzione di entropia associata allo sviluppo di sistemi complessi.

Come è stato chiaramente dimostrato (Prigogine, 1986) la complessità di un sistema è in relazione con il concetto di struttura dissipativa e di irreversibilità temporale. Fin dai suoi primi lavori sulla termodinamica dei sistemi irreversibili, apparsi nel 1940 e 1947, Prigogine cercò di superare le limitazioni dei modelli termodinamici classici, sostanzialmente basati sul concetto di sistema isolato, che preclude alla spiegazione dei fenomeni biologici ed evolutivi. In tal modo egli fu il primo a comprendere chiaramente i meccanismi attraverso i quali la dissipazione dell'energia dà luogo a processi strutturati ed a complessità crescente. Inoltre è stato possibile capire come nei sistemi termodinamici l'entropia può aumentare, in quanto tali sistemi possono costruire le loro strutture e mantenerle in modo stabile estraendo energia dall'ambiente circostante, finché non si raggiunga un livello stabile di dissipazione di energia prossimo all'equilibrio.

Successivamente Ilya Prigogine riuscì anche a spiegare il comportamento di un sistema quando venga allontanato dall'equilibrio a seguito di un grande assorbimento di energia. In tal caso è stato osservato che nel sistema si verifica un comportamento di tipo oscillatorio con ampiezza crescente, finché non si raggiunge una soglia critica di instabilità. A questo punto si possono verificare biforcazioni verso strutture a più elevata complessità. In questi punti di biforcazione, però, la transizione verso stati più complessi diventa non più prevedibile e le transizioni stesse risultano influenzate da fattori puramente casuali.

E' importante sottolineare che la validità dei risultati di Prigogine non resta limitata ai soli sistemi termodinamici, ma si estende a qualsiasi classe di sistemi dinamici evolutivi di tipo dissipativi riscontrabili in chimica, biologia, psicologia, sociologia, etc. Si tratta di una restituzione del concetto di tempo irreversibile nello studio dei fenomeni scientifici.

La teoria della biforcazione è, in generale, piuttosto complicata e difficilmente fornisce soluzioni esatte, senza l'ausilio di sofisticati algoritmi matematici implementati su calcolatore. Esistono, tuttavia, alcuni casi particolari in cui è possibile determinare soluzioni esatte, come, ad esempio, nei casi in cui si può applicare la teoria delle catastrofi

5. La teoria delle catastrofi e la teoria del caos

La teoria delle catastrofi (Thom, 1972), propone modelli matematici di tipo geometrico-topologico atti a descrivere i fenomeni discontinui, soprattutto dal punto di vista morfogenetico, nel senso che lo scopo della teoria è di fornire una spiegazione delle forme indipendentemente dal substrato materiale che le compone. La spiegazione di tali fenomeni discontinui si basa sul concetto di catastrofe, cioè di regioni dello spazio-tempo in prossimità delle quali si verificano discontinuità di forma. In base alle caratteristiche topologiche è possibile definire sette catastrofi elementari, caratterizzate da diversi valori di due tipi di dimensione: dimensione di controllo e dimensione di comportamento. A tutte le catastrofi si applicano le seguenti leggi fondamentali:

1. Ogni oggetto o forma fisica può essere rappresentata da un attrattore di un sistema dinamico appartenente ad uno spazio di variabili interne;
2. Un tale oggetto è caratterizzato da una condizione di stabilità solo nel caso in cui l'attrattore corrispondente risulti strutturalmente stabile;
3. Ogni creazione o distruzione di forma o variazione di forma (morfogenesi) può essere descritta dalla scomparsa degli attrattori associati alla forma iniziale ed alla loro sostituzione tramite cattura degli attrattori associati alla forma finale. Questo processo, detto catastrofe, può essere descritto in uno spazio di variabili esterne;
4. Ogni processo morfologico strutturalmente stabile è descritto da una o più catastrofi strutturalmente stabili;
5. Ogni processo naturale si può decomporre in "isole" strutturalmente stabili, dette creodi. L'insieme dei creodi e la sintassi multidimensionale che regola le loro rispettive posizioni costituiscono un modo semantico;
6. Se si considera un creodo come una parola di un linguaggio multidimensionale, il significato di tale parola è la topologia globale degli attrattori associati e delle relative catastrofi.

Le sei leggi fondamentali sopra enunciate sintetizzano il progetto di Thom di rappresentare geometricamente quelle scienze, come la biologia e le scienze umane, per le quali non siano definite leggi a-priori di tipo quantitativo. Particolarmente interessanti sono state le applicazioni di questa teoria alla comparsa e scomparsa di forme negli organismi viventi, indipendentemente da specifici substrati di biochimica molecolare o di genetica.

La teoria del caos deterministico rappresenta un ulteriore sviluppo nello studio dei fenomeni discontinui e irregolari, in quanto rovescia completamente il punto di vista Newtoniano, sostenendo l'impossibilità di prevedere esattamente il comportamento dei processi caratterizzati da un comportamento dinamico non lineare, a causa della impossibilità di tener conto di tutte le infinite interazioni microscopiche che avvengono tra le componenti del sistema.

Questo punto di vista si applica a qualsiasi sistema del mondo reale, dal movimento di una pallina su un biliardo ai moto dei pianeti nel sistema solare, allo studio delle perturbazioni atmosferiche, ed è del tutto indipendente dalla precisione con cui i relativi calcoli sono svolti. La conseguenza fondamentale è che viene negata la possibilità di una previsione esatta del futuro, fatta eccezione per classi ben limitate di fenomeni che si verificano su scale spazio-temporali molto ridotte. Si tratta, di una delle maggiori scoperte dello scorso secolo, avente una portata interdisciplinare, in quanto applicabile a tutti i sistemi dinamici descritti da equazioni differenziali non lineari, nei quali si possono riscontrare comportamenti irregolari e imprevedibili (Gleik, 1987).

Senza addentrarci nei dettagli matematici, possiamo affermare che tale comportamento "irregolare" si manifesta in corrispondenza di variazioni continue delle condizioni iniziali o dei parametri o delle cause del movimento che provocano variazioni discontinue degli effetti. Si tratta di fenomeni osservati in varie applicazioni di tipo fisico e biologico caratterizzate dal fatto che, in certe condizioni, si determinano

evoluzioni temporali di tipo caotico, in corrispondenza delle quali si perde la possibilità di prevedere il comportamento del sistema. Lo studio dei sistemi caotici consente di riconoscere sotto quali condizioni un sistema dinamico si può comportare in modo caotico. I metodi utilizzati a tale scopo sono prevalentemente di tipo numerico e richiedono estensive simulazioni tramite calcolatore.

La teoria del caos ha consentito di costruire nuovi modelli applicabili alla biologia, antropologia, psicologia, storia, economia, etc. Vi è oggi una vastissima letteratura relativa alle applicazioni della teoria del caos, che ha contribuito ad una radicale reinterpretazione del concetto di ordine naturale e, in ultima analisi, alla demolizione del cosiddetto metodo scientifico Newtoniano (e Galileiano). In base a questo punto di vista, fenomeni che sarebbero stati classificati come assolutamente disordinati in senso Newtoniano, sono rivisti in base alla nuova teoria dei sistemi dissipativi e del caos deterministico come nuove forme, più complesse di ordine.

Le prime applicazioni della teoria delle catastrofi e dei sistemi caotici alla Psicologia possono essere attribuite a (Thom, 1972) e ad una serie di successive applicazioni concettuali (Zeeman, 1977), (Cobb and Ragade, 1978).

Recentemente (Abraham et Al., 1990) si è assistito ad un rinnovato interesse verso le possibili applicazioni della teoria delle catastrofi e del caos alla psicologia. Tali applicazioni includevano attrattori di tipo tempo-variante, varie forme di biforcazioni, caos, frattali e sistemi ad auto-organizzazione. Inoltre, è stata fondata nel 1991 negli USA la Società per la Teoria del Caos in Psicologia e nelle Scienze Umane, con un obiettivo di studio più ampio che include anche le reti neurali, gli algoritmi evolutivi, gli automi cellulari ad altri sistemi dinamici sviluppati nel corso dell'ultimo decennio. Tali tematiche sono ampiamente sviluppate nella Rivista "Nonlinear Dynamics, Psychology and Life Sciences" pubblicata a partire dal 1997, con particolare riferimento alle scienze cognitive, alle organizzazioni sociali ed agli studi clinici.

6. Considerazioni finali

Alla luce di quanto succintamente esposto in precedenza, riteniamo che la teoria dei sistemi debba andare incontro ad un radicale adeguamento metodologico che tenga conto delle importanti innovazioni derivanti dalla introduzione dalle strutture dissipative e dalla teoria del caos e delle catastrofi. Particolarmente rilevante appare il contributo di Ilya Prigogine allo studio dei meccanismi di auto-organizzazione, essenziali per comprendere il funzionamento della mente in condizioni normali e patologiche, Tschacher (1990). La chiave per comprendere questi fenomeni è rappresentata dalla considerazione che la mente va riguardata come un sistema aperto soggetto a flussi continui di energia da e verso il mondo esterno. In questa situazione, e solo in questa, compaiono i comportamenti coerenti di coscienza e autocoscienza, presumibilmente in corrispondenza di particolari biforcazioni.

E' del tutto evidente come questa visione della mente sia radicalmente diversa dal punto di vista riduzionista, che invece considera la mente alla stregua di una macchina o di un computer, operante cioè in base ad interazioni meccaniche o elettroniche tra le sue componenti. La nascita di comportamenti auto-organizzati va posta direttamente in relazione con interazioni di tipo energetico tra l'individuo, gli altri individui, la famiglia, e la società, in un continuum spazio-temporale. Tale auto-organizzazione risulta caratterizzata da variazioni discontinue che si verificano quando nuove interazioni ed attività emergono tra le componenti del sistema e nel sistema globale in corrispondenza delle sue interazioni con l'ambiente.

Le forme che la auto-organizzazione della mente può assumere non sono prevedibili esattamente in anticipo, in quanto il processo di auto-organizzazione è un cambiamento intrinsecamente discontinuo, cioè catastrofico in senso matematico. Poichè, in generale, si possono avere diverse biforcazioni in presenza di una specifica soglia di innesco della catastrofe, quale evoluzione effettivamente segua il sistema-mente è in larga misura il risultato di circostanze accidentali. Giova tener presente, inoltre, che i comportamenti di auto-organizzazione richiedono la somministrazione dall'esterno di una dose di energia, che deve essere al di sopra di una prefissata soglia, ma non essere eccessiva. In presenza di energie troppo grandi, infatti, si verificano traumi psichici, che possono instaurare nel sistema-mente un regime di tipo caotico, in quanto tale energia supera la capacità dissipativa delle strutture auto-organizzate.

Inoltre, i comportamenti ad auto-organizzazione della mente possono essere adeguatamente compresi seguendo una prospettiva di tipo gerarchico, in modo del tutto analogo ai sistemi ecologici. Quindi la mente va riguardata come un sottosistema di un sistema più grande (l'individuo) che a sua volta è inserito in un contesto relazionale con altri individui, i quali, infine, sono tutti immersi in un ambiente.

Come si può intravedere, molte prospettive si aprono, in un contesto fortemente multidisciplinare, per meglio comprendere, prevedere, migliorare i comportamenti del sistema mente.

Bibliografia

- F.D. Abraham, R.H. Abraham, C.D. Shaw, *A visual introduction to dynamical systems theory for psychology*, Ariel, Santa Cruz.
- L. von Bertalanffy (1971), *Teoria generale dei sistemi*, Mondadori, Milano.
- L. Cobb and R.K. Ragade (1978), "Applications of catastrophe theory in the behavioral and life sciences", *Behavioral Sciences*, 23, pp. 291-419.
- J. Gleik (1987), *Chaos: Making a new science*, Viking, Harmondsworth, England.
- S.J. Guastello (2000), Nonlinear dynamics in psychology, *Discrete Dynamics and Society*, Vol.00, pp.1-20.
- C. Lorigo e A. Picardi (2000), *Dalla teoria generale dei sistemi alla teoria dell'attaccamento*, F. Angeli, Roma.
- I. Prigogine (1986), *Dall'essere al divenire*, Einaudi, Torino.
- R. Robertson and A. Combs (1995), *Chaos theory in psychology and life sciences*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah N.J.
- A. Ruberti e A. Isidori (1979), *Teoria dei Sistemi*, Boringhieri, Torino.
- R. Thom (1972), "*Stabilité Structurale et Morphogénèse*". InterEditions S.A., Paris.
- W. Tschacher (1990), *Interaktion in Selbstorganisierten Systemen (Grundlegung eines dynamisch-synergetischen Forschungsprogramms in der Psychologie)*, Asanger, Heidelberg.
- C. Zeeman (1977), "*Catastrophe theory: selected papers 1972-1977*", Reading, MA, Addison Wesley.