

EPISTEMOLOGIA ADATTATIVA: VEDERE CON I MODELLI

Ignazio Licata - Ignazio.licata@ejtp.info
ISEM, Institute for Scientific Methodology, Palermo, Italy

Abstract

In his masterpiece "Horcynus Orca" the Sicilian writer Stefano D'Arrigo distinguishes three kinds of knowledge: "the hearsay, what you can see with your eyes and what you can see with your mind's eye". In order to keep complexity out of the vaguely, anti-reductionist doxa of the hearsay, we are going to use the computational and radical emergence and logical openness. These ones will make us possible to define the observer/observed model-mediated relationship as an oriented cognitive equilibrium. To develop the key-points of our constructivist epistemology, we will draw an analogy between the vision processes and the modes we build theories and models and finally we will introduce the semantic complexity of an observer.

Key words: reductionism and emergence complementarity; radical and intrinsic emergence; artificial vision; model building; observer's role in constructivist epistemology; semantic complexity; logical openness.

Veritas est adaequatio rei et intellectus
Thomas Aquinas, *De Veritate*

The situation of complete certainty
is reached only by observation of an
infinite number of events (God's Eye)
Tibor Vámos

Introduzione

Negli ultimi anni il dibattito sulla complessità si è sviluppato impetuosamente in senso trans-disciplinare per rispondere al bisogno di spiegare il venire alla luce di comportamenti collettivi altamente organizzati e sofisticati arrangiamenti gerarchici nei sistemi fisici, biologici, cognitivi e sociali. Purtroppo non si è arrivati affatto ad una definizione chiara, in tal modo la complessità appare come un paradigma anti-riduzionista in cerca di una teoria.

In questa breve rassegna il nostro obiettivo è quello di suggerire una chiarificazione in relazione alle nozioni di emergenza computazionale ed intrinseca, e di mostrare come la seconda sia profondamente connessa alla nuova teoria dell'apertura logica, un'originale estensione del teorema di Godel alla teoria dei modelli. Lo scenario epistemologico che utilizzeremo è quello, particolarmente istruttivo, della teoria della visione. Il vedere è infatti un elemento del nostro rapporto primordiale con il mondo, e non dovremmo quindi stupirci se un'attenta considerazione dei processi di percezione visuale può condurci direttamente ad alcuni problemi significativi in grado di delineare il modello di una storia naturale della conoscenza. In greco, "teoria" e "visione" hanno la stessa etimologia, in entrambi i casi infatti sarà possibile stabilire una precisa analogia tra le modalità con cui si realizza la visione e quelle che utilizziamo per "vedere e costruire il mondo" (Goodman, 1978), poiché entrambe ci diranno qualcosa sul ruolo centrale dell'osservatore e sulla complessità semantica delle strategie cognitive.

Riduzionismo ed oggettivismo naive

Gran parte dei problemi nel mettere a fuoco il concetto di complessità derivano proprio da un'indebita estensione di quell'"oggettivismo" naive che rappresenta la deriva concettuale del riduzionismo. Quest'ultimo è un utilissimo strumento che ha assicurato alle scienze fisiche uno sviluppo prodigioso, ma inteso come metodo unico ed universale porta con sé un postulato nascosto, apparentemente innocuo e naturale, ossia che il mondo sia "già lì", indipendente dall'osservatore, organizzato in livelli e riconducibile ad una catena di teorie connesse logicamente l'una con l'altra e che ogni livello di descrizione sia ricavabile dal precedente soltanto utilizzando opportune tecniche matematiche e, al più, "leggi-ponte".

La complessità che corrisponde a questa visione è la complessità algoritmica (Chaitin, 2007), che misura la quantità di informazione che una macchina di Turing deve elaborare per risolvere un problema in funzione dello spazio (lunghezza del programma) e del tempo di elaborazione. È interessante notare che una concezione di questo genere accomuna l'intelligenza artificiale e le recenti "teorie del tutto": in entrambi i casi infatti un "demone" di Laplace (Hahn, 2005) può risolvere una "mente" in termini puramente sintattici proprio come riduce la varietà del mondo fisico ad una *nutshell* di particelle ed interazioni fondamentali. Analogamente, in un universo di questo tipo non può esserci alcuna autentica "novità", e l'unica emergenza rilevabile è di tipo computazionale (rilevazione di *patterns*) ricavata a partire dalla compressione algoritmica fondamentale.

Un esempio di questo tipo di emergenza sono i sistemi caotici non-lineari, in cui la viene a mancare la predicibilità *long-range* ma non la possibilità di computare *step-by-step* la traiettoria del sistema nello spazio della fasi. Benchè non siano mancate le critiche radicali a questa accezione ingenua del riduzionismo (Anderson, 1979; Laughlin, 2006; Laughlin e Pines, 1999; Laughlin, Pines *et al.*, 2000) e si sia osservato come una descrizione di questo tipo sia realizzabile soltanto in sistemi classici (Licata, 2008a), l'oggett-

tivismo *naive* e l'indipendenza dall'osservatore è ancora uno dei postulati dominanti nella concezione dell'attività scientifica. Per trovare un'alternativa è necessario rivolgersi ad una teoria dinamica dei rapporti tra osservatore ed osservato che tenga in conto i processi co-adattativi e la natura ecologica delle relazioni tra mente e mondo.

Visione tra sintassi e semantica

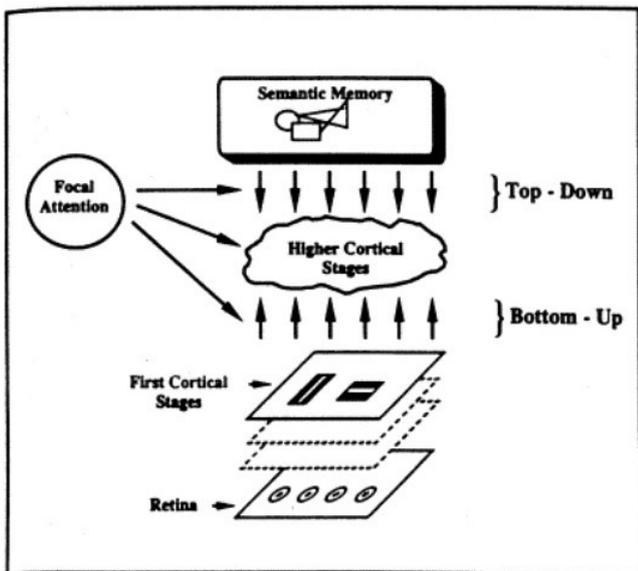
Le difficoltà di realizzare dispositivi di visione artificiale sono state estremamente istruttive per comprendere gli aspetti semantici della complessità del processo. Com'è noto, l'approccio simbolico-algoritmico del cognitivismo classico ha permesso soltanto il riconoscimento di forme e dinamiche molto semplici, mentre il connessionismo, forte di una possibilità di calcolo parallela e distribuita di ispirazione bio-morfa, ha avuto successi maggiori nel riconoscimento di *patterns* anche molto complicati, ma ad accomunare entrambi è il problema del significato della visione. Per chiarire questo punto cruciale è utile passare in rapida rassegna alcuni risultati salienti della neurodinamica.

Quando un impulso visivo relativo ad un oggetto (frequenza, luminosità, dinamica e così via) colpisce la retina, le informazioni trasportate vengono distribuite sui campi recettivi di un gran numero di "agenzie" neuronali specializzate. Un problema classico è quello di ricondurre l'attività di molte agenzie cognitive ad un atto percettivo che esperiamo come un tutto unico. In questi anni si è ottenuta una chiara verifica sperimentale del fenomeno del *feature binding* (Singer e Gray 1995; Varela *et al.*, 1999), ossia i processi di coerenza attraverso cui le agenzie neuronali si sincronizzano in modo da rispondere in modo collettivo ed unitario al riconoscimento di un oggetto. Se consideriamo ciascun neurone come un dispositivo non-lineare a

cesso di feed-back è stata studiata da Stephen Grossberg con la sua ART, *Adaptive Resonance Theory* (Grossberg, 1988; Levine, 2000). L'*input* del processo è dato da una serie di stimoli *bottom up* (segnali fisici che portano l'informazione visiva, meccanismi di trasduzione biologica nella *working memory* verso le agenzie cognitive) che vengono selezionati e regolati da un gruppo di segnali *top-down* che agiscono come vincoli globali sulla risposta neuronale collettiva che permette il riconoscimento e gli *output* di risposta.

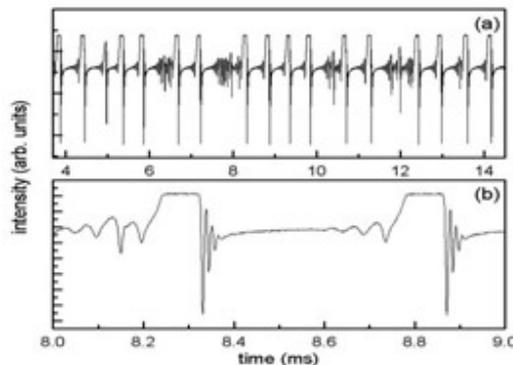
Le attività *bottom up* sono in linea di principio interamente codificabili come processi di elaborazione sintattica secondo una logica riduzionistica, ma questo non vale per gli aspetti *top-down*, che dipendono invece dalle memorie pregresse, le conoscenze e gli scopi dell'osservatore. Senza questi elementi non c'è visione, ma solo riconoscimento di *patterns*. Il significato evolutivo primario dei vincoli dinamici *top down* - alcuni dei quali sono parte integrante del bagaglio genetico profondo - consiste nel filtrare gli stimoli relativi ad informazioni essenziali per l'adattamento. I processi *top-down* amplificano selettivamente gli stimoli attesi e ne sopprimono o smorzano altri secondo ordini di priorità centrati sulla stratificazione di esperienze pregresse. Il *feed-back* di risonanza tra agenzie neuronali può dunque essere visto come una "valutazione" dell'informazione tale da permettere allo stimolo di essere selezionato dal rumore ambientale ed attivare una decisione motoria e linguistica. D'altra parte è possibile che un impulso *bottom up* non rientri in memorie già immagazzinate, in questo caso l'attività cognitiva deve realizzare il *feature binding* costruendo nuove categorie e nuovi codici interpretativi in grado di realizzare l'armonizzazione richiesta.

Un interessante modello di microdinamica neurale per la relazione adattiva tra processi *bottom up* e *top down* utilizza i meccanismi del caos omoclinico (Arecchi *et al.*, 2002a, b). Già in un famoso articolo programmatico il "collettivo dei sistemi dinamici" aveva avanzato l'ipotesi che la peculiare miscela ordine-disordine delle dinamiche non-lineari poteva modellare la sensibilità critica dei processi attentivi come amplificatore di informazione (Crutchfield *et al.*, 1986; Licata, 2008b). Nel caso del caos omoclinico si considerano gli *spikes* neuronali come orbite regolari con tempi erratici, che si sincronizzano secondo un processo di *phase-linking* quando uno stimolo viene riconosciuto attraverso un feed-back ART.

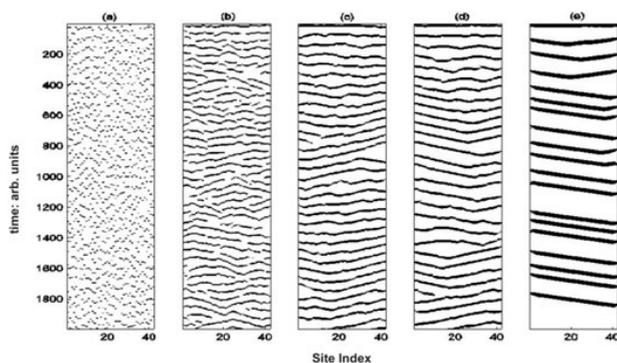


(Julesz, 1991).

soglia, questo significa che il processo di coerenza richiede il riaggiustamento della soglia di ogni neurone in modo da aggiustarne l'uscita con quella degli altri neuroni implicati nella stessa percezione. La logica generale di questo pro-



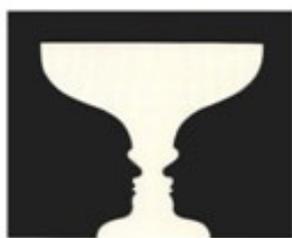
(a) Homoclinic chaos orbits with erratic times
(b) a single orbit



Synchronization patterns in homoclinic chaos

(Arecchi *et al.*, 2002a, 2002b).

La durata e le modalità specifiche della coerenza dipendono dal tipo di esperienza e forniscono una spiegazione naturale dei tempi della coscienza come durata degli stati di coerenza (Libet, 2005). Semir Zeki ha ipotizzato l'attivazione di processi di questo tipo per le agenzie neurali di forma e movimento chiamate in gioco nell'esperienza estetica (Zeki, 2000). Esempi concreti e suggestivi della coerenza che realizza la visione sono le celebri litografie di Escher o i dilemmi del tipo "anatra o coniglio?" (Jastrow, 1973). In entrambi i casi si ha una performance affidabile dei meccanismi della percezione visiva che non corrisponde però alla dimensione semantica del vedere; quest'ultima si realizza solo quando la coerenza fa "collapsare" un'interpretazione.



Visual cognitive dilemmas: vase or faces? angels or devils?
(Escher's Circle Limit IV, 1960)

L'ipotesi della "mentalica statistica" (Hofstadter, 1996) consiste nell'idea di poter realizzare una correlazione tra stati simbolici e sub-simbolici, in modo analogo a quanto fatto in fisica statistica con la termodinamica e la teoria cinetica dei gas. Seguendo questo modello fisico, è stato proposto che ad una stessa descrizione simbolico-cognitiva corrispondono più stati sub-simbolici (Clark, 1991). Si potrebbe essere tentati dunque di assimilare i vincoli top down al linguaggio simbolico *high level* del cognitivismo ed i processi *bottom up* della percezione visiva è quello *low-level* del connessionismo. E' stato dimostrato però che un programma di questo tipo è realizzabile solo in alcuni casi estremamente semplici (Smolensky, 2006), e lo schema qui discusso fornisce ulteriori ragioni al fallimento di quest'ipotesi. Infatti i vincoli *top-down* non sono schemi fissi assimilabili ad un algoritmo, ma piuttosto paesaggi neurali in continua ridefinizione dinamica con le relazio-

ni sistema-ambiente. Le descrizioni computazionali della visione del cognitivismo classico (Marr, 1983) funzionano infatti soltanto in mondi "chiusi", zone lontane dai processi d'emergenza, quando il processo ART non rimodella lo scenario cognitivo. Casi significativi provengono dagli esperimenti sulla memoria olfattiva delle locuste e dei conigli. Nel primo caso si osserva che la sequenza temporale di attività neuronali che codifica un odore non varia in successive presentazioni dello stesso stimolo, mentre nei conigli ad uno stesso stimolo corrispondono sequenze diverse, segno che la dinamica cognitiva del coniglio cambia con ogni singola esperienza, modificando il suo repertorio di significati. Diversamente dall'ipotesi della mentalica statistica, gli aspetti *top-down* e *bottom up* nella visione non sono due livelli descrittivi diversi, ma aspetti di un unico processo dinamico. La descrizione della visione come processo di coerenza fornisce perciò una scappatoia alle strettoie del rappresentazionalismo classico ed alla sua versione microscopica che è il "neurone della nonna". Ci troviamo davanti ad una dinamica evolutiva di significati centrati sull'osservatore senza i quali c'è percezione passiva di stimoli ma non autentica visione (Arecchi, 2001; Tagliascio e Manzotti, 2008) Quest'analisi può essere facilmente trasportata nel territorio epistemologico della costruzione di modelli.

Vedere con i modelli

Una tendenza antica dell'epistemologia di derivazione "platonica" è quella di poter definire astrattamente un metodo della conoscenza e comprimerlo in una forma "agnostica" rispetto al significato ed il più possibile indipendente dalle scelte dell'osservatore. Un programma esplicito in questo senso è stato quello proposto nell'ambito del neopositivismo con l' "enciclopedia unificata delle scienze", che avrebbe dovuto rappresentare per le scienze empiriche l'equivalente dei "Principia Mathematica" di Whitehead e Russell, una costruzione puramente logico-formale della struttura della conoscenza scientifica sintatticamente ben definita ed auto-sufficiente. Come nel caso della visione artificiale, le difficoltà a realizzare uno "scienziato automatico" si sono rivelate estremamente istruttive sulla dinamica reale dei processi di produzione di conoscenza scientifica (Thagard, 1993; Magnani, 2006).

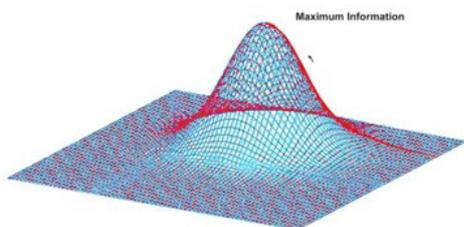
Consideriamo un sistema *S* studiato attraverso un apparato sperimentale *Obs* e descritto da un modello *M*. Quest'ultimo è costituito essenzialmente da un insieme di variabili, delle loro equazioni di evoluzione e dalle condizioni al contorno che definiscono *S*. Fissate le osservabili O_i del sistema (con *i* che varia su un insieme finito), *Obs* può essere completamente specificato da procedure operative di tipo algoritmico, un Turing- *Observer* (Licata, 2006). Sotto queste condizioni un modello *M* può essere visto come un sistema esperto che manipola i dati ottenuti dal Turing-*Observer*, e la "competizione" tra un insieme di modelli *M* che descrivono *S* può essere considerata una procedura bayesiana del tipo:

La formula va intesa come la maggior capacità che

ha un modello rispetto agli altri di scalare velocemente il picco del monte di probabilità, fornendo la massima fitness nello spazio delle osservabili O in termini di correlazione e predizione secondo un criterio di compressione algoritmica. La (1), applicata al perfezionamento di un singolo modello, può essere vista come una procedura darwiniana

$$(1) \text{prob}\langle M|O \rangle = \frac{\text{prob}\langle O|M \rangle \cdot \text{prob}\langle M \rangle}{\text{prob}\langle O \rangle}$$

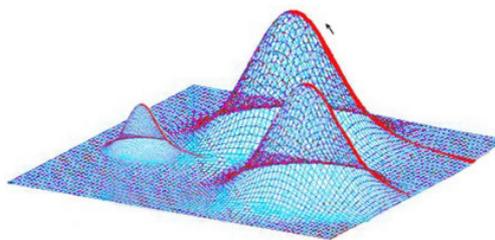
na del tipo: “formulazione del modello-confronto con i dati- mutazione e selezione del modello con probabilità a posteriori massima”.



Fitness Hill for a Single Model

Una descrizione formalmente alternativa ma concettualmente simile si può ottenere nell’ambito della teoria dinamica dei giochi, considerando il modello che ottiene il maggior punteggio nel gioco con i valori delle osservabili del sistema, o nell’ambito della teoria fuzzy, dicendo che il modello che si afferma è quello che consente una completa defuzzificazione del sistema. In altre parole, il modello “satura” l’informazione disponibile nel sistema.

E’ evidente che se le teorie (o la natura!) funzionassero così, avremmo ecosistemi naturali e concettuali assai poveri. Più realisticamente, nello studio dei fenomeni l’identificazione del sistema in esame e delle sue variabili significative non sono evidenti a priori, ma sono il frutto di scelte modellistiche molto raffinate ed “opportunistiche” (Einstein diceva che lo scienziato appare all’epistemologo come un opportunista senza scrupoli!). Nel quadro sopra delineato il contesto osservativo-sperimentale è predefinito e codificato, “fotografa” il sistema secondo una prospettiva fissa, ma nella ricerca scientifica le cose più interessanti avvengono quando “cambiamo codice”, e scegliamo di osservare il sistema da altri punti di vista. Questo significa che il costruttore di modelli cambia “prospettiva” e variabili, e dunque utilizza un contesto osservativo-sperimentale Obs . diverso. In pratica, uno stesso sistema è descritto da una famiglia di modelli, finita o infinita numerabile, ognuno dei quali è “specializzato” a vedere aspetti diversi che rispecchiano le interazioni possibili tra osservatore - inteso dunque come agente attivo - e sistema osservato (Minati e Guberman, 2007). La (1) definisce in questo caso uno scenario modellistico a più picchi che può essere visto come un’indicazione della “complessità semantica” del sistema.



Fitness landscape for different modelling perspectives

Simbolicamente possiamo indicare la relazione tra un modello M che rappresenta lo stato della conoscenza di un sistema S attraverso un insieme di scelte dell’osservatore Obs ad un dato stage $n.th$ come:

$$M^{(n)} = Obs_1(S^n).$$

Obs_1 è un operatore che garantisce la corrispondenza tra S ed M . Questo significa che il modello M “vede” i dati prodotti dal sistema S attraverso le procedure operative di corrispondenza Obs_2 :

$$(\text{exp data}^n) = Obs_2(M^n).$$

L’acquisizione di nuovi dati sperimentali può modificare il modello e richiedere nuove strategie Obs_3 :

$$M^{(n+1)} = Obs_3(\text{exp data}^n).$$

Da quest’ultima espressione ricaviamo:

$$M^{(n+1)} = Obs_1(S^{(n+1)}) = Obs_1(Obs_3(Obs_2(M^n)))$$

Gli operatori Obs_i non vanno considerati come strumenti formali “rigidi”, ma come insiemi di procedure modellistiche che dipendono dalla natura del sistema e dagli scopi dell’osservatore. Ponendo $Obs = Obs_{1,2,3}$ e generalizzando la procedura ad n stages, otteniamo una formula ricorsiva: (2)

$$(2) M^{(n)} = Obs_n(M^{(0)}), \text{ con } n \in \mathbb{N}$$

La (2) riassume l’analisi fatta finora: l’estrazione di informazione dal sistema S avviene attraverso una successione n di modelli M – chiamati di Von Foerster *eigen-model* (Von Foerster, 1999) – che rappresentano le “prospettive” tramite le quali l’osservatore “guarda” il sistema. Il modello ha dunque il ruolo di filtro cognitivo che realizza uno stato di coerenza tra il sistema e l’osservatore. Consideriamo adesso una successione infinita di interazioni tra osservatore e sistema:

$$M^{(\infty)} = \lim_{n \rightarrow \infty} Obs_n(M^{(0)}).$$

La domanda naturale è: questo scenario modellistico può convergere verso un “punto fisso”, un modello unico che in qualche modo li contiene tutti? Vedremo che la risposta generale è negativa, ma prima dobbiamo soffer-

marci sull'ipotesi di una risposta positiva, che è tradizionalmente quella riduzionista.

La miopia del riduzionismo

La versione più diffusa del riduzionismo è quella di indicare come scenari teorici fondamentali quelli con le "freccie puntate all'ingù", verso i costituenti elementari del sistema: particelle, molecole, neuroni, e così via. Come abbiamo detto, questa è una strategia che ha permesso grandi successi ma non è sempre praticabile. Concentrando la nostra "risoluzione" sui componenti elementari, l'informazione contenuta nelle condizioni iniziali per unità di tempo, detta entropia di Kolmogorov-Chaitin (Chaitin, 2007), si erode rapidamente e la complessità algoritmica del sistema cresce esponenzialmente con il numero di particelle. In altre parole, dobbiamo o andare incontro ad una catastrofe computazionale, o cambiare codice e costruire un nuovo modello, ad esempio basato su nuove variabili collettive, per poter descrivere i *pattern* del sistema. Quando la sintassi diventa troppo complicata da seguire in dettaglio, è più utile selezionare informazione significativa su altri livelli. Questa è una strategia cognitiva analoga a quella considerata nel caso della visione: focalizziamo infatti la nostra attenzione su una quantità di informazione abbastanza stabile da poter essere registrata e studiata.

Queste considerazioni sono abbastanza ovvie nelle *life* e socio-economiche *sciences*, dove gli aspetti significativi non risiedono soltanto nei "componenti", ma piuttosto nelle dinamiche funzionali delle strutture. La maggior parte dei fenomeni "interessanti" con i quali abbiamo a che fare, richiedono infatti approcci "architettonici" globali che non possono essere derivati dai "mattoni fondamentali", perché sistemi costituiti da entità assai diverse possono mostrare comportamenti collettivi assai simili, la cui universalità è assai più significativa della mera individuazione delle componenti elementari. In questo senso va inteso il famoso *More is Different* di Anderson (Anderson, 1979), che metteva l'accento proprio sull'universalità dei processi di rottura spontanea di simmetria nei sistemi quantistici densi come schema concettuale generale (*frame*) per l'emergenza (Pessa, 2002). In più, in tempi recenti, persino nell'ambito della fisica, sono emersi diversi approcci che tendono a considerare la stessa possibilità di individuare "oggetti costituenti" come una conseguenza delle proprietà universali dei processi d'emergenza e dunque le stesse distinzioni e correlazioni tra "stato microscopico" e "stato macroscopico" sono largamente problematiche e *context-dependent* (Licata, 2009).

Il limite del riduzionismo consiste nel concentrarsi principalmente sulla nozione di "livello", e di aspirare ad una descrizione del mondo costituita da una catena di modelli-di-livello impilati a "torre di Hanoi". Sfortunatamente questo è possibile soltanto all'interno di pochi definiti schemi teorici, come nelle *Effective Field Theories*, dove la sintassi della *Quantum Field Theory* permette di costruire una catena di livelli ognuno dei quali individua una scala di energia, tempi e lunghezze, ed è possibile connettere un livello ad un altro tramite opportune *matching condi-*

tions che regolano i rapporti tra i parametri dei livelli confinanti (Castellani, 2000).

Bisogna rimarcare con forza che il processo di modellizzazione nella scienza non è regolato soltanto dalla nozione di livello, ma è soprattutto *goal-seeking*, mirato a cogliere aspetti peculiari di un fenomeno (Ryan, 2007), e dunque il problema del "paesaggio modellistico" sopra esaminato si pone in questo modo: quali sono le relazioni tra le modificazioni dinamiche e strutturali di un sistema (*ontological aspect*) e la pluralità delle scelte modellistiche (*epistemic aspect*)? Che tipo di emergenza è rilevata dalle diverse classi di modelli possibili? E' richiesta dunque una teoria generale delle relazioni osservatore-osservato.

Costruire visioni: Emergenza e Apertura Logica

La costruzione di un modello, proprio come la visione, realizza un equilibrio omeostatico cognitivo tra osservatore ed osservato. Il tipo di modello scelto riflette le scelte del costruttore sulla complessità del sistema in esame. Ricordiamo abbiamo un "modello di sistema logicamente chiuso" quando possiamo sempre assegnare sempre i valori delle variabili di stato e disponiamo di una descrizione completa ed esplicita delle relazioni tra sistema ed ambiente, ed operiamo dunque all'interno di una sintassi univocamente definita. E' dunque vantaggioso e praticabile un approccio computazionale al problema.

La maggior parte dei sistemi con i quali abbiamo a che fare sono però "logicamente aperti", scambiano continuamente materia, energia ed informazione con l'ambiente ristrutturando la loro organizzazione interna e modificando le relazioni gerarchiche e funzionali (Minati, Pessa, Penna, 1998; Licata, 2008b; 2008c). Un sistema di questo tipo non è risolvibile attraverso un modello chiuso ed è descritto da un modello "logicamente aperto", per il quale non esiste una procedura ricorsiva per stabilire quale informazione è o non è rilevante per la descrizione del suo comportamento. Questo avviene perché le interazioni con l'ambiente dipendono in numero e forma dallo "stato interno" del sistema stesso. E' questo il caso proprio del processo di visione, in cui il *feed-back* tra stimoli *bottom up* e strutture dinamiche *top down* porta all'emergenza di codici capaci di controllare la percezione di nuovi schemi.

Proprio come il teorema di Gödel mostra che non è possibile "zippare" la matematica in sistemi assiomatici, dunque la matematica è un sistema aperto (Chaitin, 2007), la "teoria dell'apertura logica" definisce il grado di complessità di un sistema in relazione alla sua incomprimibilità descrittiva all'interno di un singolo modello. Ai modelli logicamente chiusi e aperti corrispondono rispettivamente due tipi di emergenza:

1) *Computazionale*: è il caso della formazione di *patterns* in sistemi non-lineari continui o discreti, come strutture dissipative (Nicolis e Prigogine, 1989) o automi cellulari (Wolfram, 2002), dove si osserva un'amplificazione dell'informazione in tempo polinomiale o esponenziale. In questo caso la "novità" rilevata dall'osservatore è una conseguenza matematica, seppur non banale, della struttura del modello adottato; è possibile in linea di principio avere

una descrizione computazionale locale di questi sistemi, la non-predicibilità in dettaglio a lungo termine è legata soltanto alla sensibilità critica alle condizioni iniziali ed alla rapida "perdita di memoria" di queste durante l'evoluzione dinamica;

2) *intrinseca o osservazionale*: l'emergere di nuovi comportamenti del sistema "non può essere previsto dal modello adottato" e richiede una nuova formulazione del modello del sistema. E' questo un caso più "radicale" del primo, che impone l'utilizzo di modelli tra loro complementari che colgono aspetti diversi del sistema a seconda del tipo di comportamenti e degli obiettivi del modellizzatore. Ciò indica che "il sistema è sufficientemente complesso da giocare un gioco diverso da quello individuato dalle regole del modello". Questa, lungi dall'essere una situazione esotica, è piuttosto la norma nel caso dei sistemi biologici e cognitivi. Questi ultimi infatti mostrano "emergenza semantica" tramite transizioni dell'apertura logica che indicano la capacità del sistema di gestire autonomamente l'informazione ed il rapporto con l'ambiente, e dunque "scelgono come interfacciarsi con l'osservatore". In altre parole possiamo dire che "l'emergenza intrinseca si manifesta quando la natura del sistema costringe l'osservatore a costruirne sempre nuovi modelli, utilizzando diverse strategie cognitive e gestirle dinamicamente" (Minati, 2008).

I sistemi logicamente aperti possono essere ordinati in classi di complessità che dipendono in generale dal costo termodinamico che sostiene la loro struttura fisica ed informazionale e si riflette sulle scelte modellistiche utilizzate per descriverli. Bisogna ricordare, anche senza addentrarsi in analisi dettagliate, che più un sistema complessifica la sua struttura più aumenta la dissipazione; se il sistema non viene distrutto dalla dissipazione, significa che un insieme di vincoli n lo impedisce. Con il termine vincolo qui indichiamo in modo globale aspetti significativi della relazione sistema-ambiente, come condizioni al contorno e iniziali, leggi di bilanciamento, variazione di parametri e così via. Introduciamo dunque il concetto di sistema ad apertura logica n , come caratterizzato da un numero n di vincoli, con n finito. E' possibile raffigurarlo come un grafo con n vertici, ognuno dei quali rappresenta dal punto di vista termodinamico un meccanismo di contenimento entropico e dal punto di vista informazionale uno specifico *informational path* attraverso cui il sistema elabora gli *input* in risposte.

E' facile dimostrare formalmente che a) è impossibile descrivere un sistema logicamente aperto n con un singolo modello formale e b) la descrizione di un sistema aperto di grado n tramite un modello ad apertura logica m , con $m < n$, ha un dominio di validità limitata. Ci limiteremo qui a rimarcare la somiglianza tra questi risultati e quelli limitativi della logica formale e, tralasciando i particolari matematici, ci concentreremo sul loro significato concettuale ritornando all'immagine del grafo. Adottare un singolo modello significa fissare variabili ed interazioni, un numero finito e fisso di n di vertici, mentre in un sistema ad alta apertura logica ne emergono e ne scompaiono in continuazione in modo non predicibile, poiché dipende dall'organizzazione fun-

zionale "interna" del sistema. L'adozione di un modello è dunque una partizione arbitraria operata dall'osservatore sul rapporto sistema-ambiente.

La stessa attività di costruire modelli, come ogni attività cognitiva, è un sistema aperto, non descrivibile con (all'interno di) la sintassi di un modello "unico", ma tramite una pluralità di processi co-adattivi tra osservatore-osservato (Maturana e Varela, 1992). Per questo tipo di sistemi è impossibile una "teoria del tutto", perché significherebbe ipotizzare un'apertura logica infinita, l'esistenza di un super-osservatore laplaciano capace di descrivere ogni stato ad ogni istante delle relazioni sistema-mondo, ricadendo così nell'utopia riduzionistica. Noi non possediamo l'occhio di Dio! (Vamos, 1991). In sintonia con questa linea è un'interessante teorema dimostrato da Breuer, secondo il quale nessuna teoria, classica o quantistica, può descrivere ogni stato di un sistema in cui è incluso l'osservatore (Breuer, 1995, 1997).

Il riduzionismo è una strategia che funziona bene nel caso di sistemi che si prestano ad essere risolti (risoluzione) in modelli a bassa apertura logica, all'interno di una corrispondenza biunivoca tra sintassi e semantica. Per quello che riguarda i modelli cognitivi, ad esempio, l'osservatore sotteso all'AI si pone ad un livello di chiusura logica dove il numero di vincoli è basso, non dipende dal tempo e da informazione inaccessibile o "opaca" (Clark, 1991). I modelli connessionisti si situano invece ad un grado più alto di apertura logica, l'apprendimento di una rete neurale non supervisionata, infatti, dipende solo in piccola parte del "programma genetico" iniziale e si complessifica nell'interazione con l'ambiente, fino ad arrivare al *quantum brain*, un modello ad altissima apertura logica che tiene conto dell'emergenza di nuovi codici e domini semantici mediante i rapporti dissipativi con l'ambiente (Vitiello, 2001).

La scienza al tempo della complessità

L'atto del vedere e costruire modelli del mondo sono entrambi aspetti di processi adattivi che implicano l'intervento di un filtro cognitivo, l'attivazione di uno spazio semantico che rende possibile la stessa rappresentabilità. Questa non va intesa come una "fotografia" del mondo, ma piuttosto come un gioco dinamico tra l'occhio e il mondo che si realizza attraverso l'adozione di strategie creative ad alta apertura logica. L'osservatore è parte della descrizione attraverso le sue scelte, come Velázquez è dentro il suo famoso quadro *Las Meninas*. E' questa una dimensione di complessità semantica che riflette gli stati infiniti di equilibrio omeo-cognitivi possibili tra osservatore ed osservato. Cosa ci dice tutto ciò sulla visione della scienza?

La *received view* dell'epistemologia classica ha sempre avuto un carattere normativo e lineare che in definitiva non metteva mai in crisi - se non crisi di tipo "locale" - la possibilità di una rappresentazione oggettiva del mondo raggiunta attraverso la stratificazione profonda del tessuto teorico e l'affermazione "darwiniana" dei modelli "giusti", in grado di superare la prova dell'esperienza (salvare i fenomeni) e di connettersi alle teorie "fondamentali", come

sono in fisica la relatività e la meccanica quantistica, o nelle *life sciences* la selezione naturale e il dogma centrale della biologia molecolare. Occasionalmente, un singolo modello (sviluppato a partire da un problema) poteva minare in profondità il panorama teorico e modificarlo, come l'ipotesi di Planck sulla radiazione di corpo nero, ma non veniva mai intaccata l'idea di un'approssimazione asintotica verso una teoria unificata e definitiva del mondo. Questo ha determinato non soltanto una drastica divisione tra scienze *hard* e *soft*, sancendo il divorzio cartesiano tra scienze della mente e della materia, ma soprattutto ha favorito il permanere di una visione semplificata dei rapporti tra processi conoscitivi e mondo, gli uni intesi come metodo e l'altro come "codice" da scardinare.

D'altra parte, certe forme estreme di costruttivismo radicale hanno spostato l'asse verso una liquidazione dell'oggetto che appare ugualmente semplificata. Se infatti diciamo che un modello funziona, asseriamo qualcosa di analogo a "una chiave apre una serratura", e soprattutto che un altro modello o un'altra chiave non funzionano! Affermare che questa è una creazione dell'osservatore significa riconoscere la natura *context-dependent* del rapporto osservatore-osservato, ma allora la nozione di "produrre un mondo" deve includere, più che una pericolosa pendenza ontologica o verso l'oggetto o verso il soggetto, una visione unitaria dei "rapporti adattativi" tra osservatore ed osservato. Il problema del costruttivismo radicale è che sembra non trovare autentiche spiegazioni per dinamica unitaria della scienza, ossia la capacità dei nostri modelli di aggregarsi in strutture e meta-strutture, in classi sintattiche e catene teoriche: esistono, di fatto, chiavi che aprono più porte!

In genere, il termine "ontologia" procura l'orticaria allo scienziato, che si preoccupa soprattutto di costruire strumenti concettuali e formali in grado di identificare i problemi e tentare delle risposte. La visione tradizionale delle epistemologie tradizionali è "a grana grossa" perché nella realtà quotidiana della ricerca più tendenze e micro-paradigmi si contendono l'obiettivo di "salvare i fenomeni" e tranne pochi casi relativi a sintassi molto ben definite (ad es. la *quantum field theory* e il modello standard), le cosiddette teorie fondamentali e più radicate, le memorie pregresse della conoscenza scientifica, non aiutano una selezione univoca tra i vari modelli, che si differenziano spesso non tanto per il livello o l'ampiezza della spiegazione, quanto per lo scopo. Non a caso David Deutsch parla delle teorie fondamentali come di una "trama della realtà" un insieme di principi-guida che agiscono sui modelli emergenti come condizioni al contorno di carattere generale (Deutsch, 1998). In più, va ricordato che le nuove acquisizioni spesso non modificano la "forma" delle teorie fondamentali, ma la nostra interpretazione, il nostro modo di usarle per costruire nuova conoscenza.

La visione della scienza che ne deriva non è quella di un continente, è piuttosto quella di un arcipelago, dove vediamo grandi isole, quelle più antiche e sintatticamente definite, e vediamo emergere isole più piccole, magari dall'esistenza transitoria, e dove i ponti concettuali tra le varie isole vengono continuamente ricostruiti.

Le scienze della complessità richiedono una visione dell'attività scientifica in grado di comprendere le dinamiche adattative tanto tra un sistema ed il suo ambiente, quanto tra un modello ed il contesto in cui viene adoperato. L'epistemologia adattativa fondata sull'apertura logica supera le strettoie sia di una visione ingenuamente "oggettiva" che le tentazioni del relativismo radicale, riportando al centro dell'attenzione che il gioco di produzione della conoscenza è un processo di spostamento continuo dalle dimensioni sintattiche "cristallizzate" alla pluralità delle scelte che rendono possibile l'incontro tra la mente ed il mondo.

Acknowledgement

L'autore ringrazia G. Minati e T. Arecchi per le preziose discussioni negli anni sui temi di questo paper. Il lavoro è dedicato a Vincenzo Tagliascio (1941- 2008)

Bibliografia

- ANDERSON, P.W. (1979), *More is Different*, in *Science*, New Series, 177, 4047, pp. 393-396.
- ARECCHI, F.T. (2001), *Complexity versus Complex Systems: A New Approach to Scientific Discovery*, in *Nonlin.Dynamics, Psychology and Life Science*, 5, 1, pp. 21-35
- ARECCHI, F.T., ALLARIA, E., DI GARBO, A., MEUCCI, R. (2002a), *Autonomous Bursting in a Homoclinic System*, in *Phys. Rev. Lett.*, 88, 14, pp. 144101- 4
- ARECCHI, F.T., ALLARIA, E., DI GARBO, A., MEUCCI, R., TSIMRING, L. S. (2002b), *Delayed Self-Synchronization in Homoclinic Chaos*, in *Phys. Rev. E* 65, 046237
- BREUER, T. (1995), *The Impossibility of Accurate State Self-Measurements*, in *Philosophy of Science* 62, pp. 197-214
- BREUER, T. (1997), *What Theories of Everything Don't Tell*, in *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics*, 28, pp. 137-143
- CASTELLANI, E. (2000), *Reductionism, Emergence, and Effective Field Theories*, in *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 33, pp. 251-267
- CHAITIN, G. J. (2007), *Thinking about Gödel and Turing: Essays on Complexity, 1970-2007*, World Scientific
- CLARK, A. (1991), *Microcognition: Philosophy, Cognitive Science and Parallel Distributed Processing*, MIT Press
- CRUCHFIELD, J. P., FARMER, J. D., PACKARD, N. H., SHAW, R.S. (1986), *Chaos*, in *Sc.Am.*, 255, pp. 46-57
- DEUTSCH, D. (1998), *The Fabric of Reality*, Penguin Books
- GOODMAN, N. (1978), *Ways of Worldmaking*, Hackett Publ.
- GROSSBERG, S. (1988), *The Adaptive Brain: Cognition, Learning, Reinforcement, and Rhythm*, North Holland
- HAHN, R. (2005), *Pierre Simon Laplace, 1749-1827: A Determined Scientist*, Harvard Univ. Press
- HOFSTADTER, D., R. (1996), *Fluid Concepts And Creative Analogies: Computer Models Of The Fundamental Mechanisms Of Thought*, Basic Books
- JASTROW, J. (1973), *Fact and Fable in Psychology*, Books for Libraries Press
- LAUGHLIN, R.B. PINES, D. (1999), *The Theory of Everything*, in *PNAS*, 97, 1, pp. 28-31

- LAUGHLIN, R. B., PINES, D., SCHMALIAN, J., STOJKOVIC, B. P., WOLYNES, P. (2000), *The Middle Way*, PNAS, 97, 1, pp.32-37
- LAUGHLIN, R. B. (2006), *A Different Universe: Reinventing Physics from the Bottom Down*, Basic Books
- LEVINE, D. (2000), *Introduction to Neural and Cognitive Modeling*, Lawrence Erlbaum
- LIBET, B. (2005), *Mind Time: The Temporal Factor in Consciousness*, Harvard Univ. Press
- LICATA, I. (2006), *General System Theory, Like-Quantum Semantics and Fuzzy Sets*, in *Systemics of Emergence*, Minati, G., Pessa, E., Abram, M. (eds), Springer
- LICATA, I. (2008a), *Emergence to the Edge of Classical and Quantum Information*, in Licata I., Sakaji A. (eds), *Physics of Emergence and Organization*, World Scientific
- LICATA, I. (2008b), *Logical Openness in Cognitive Models*, in *Epistemologia*, 31, 2
- LICATA, I. (2008c), *La Logica Aperta della Mente*, Codice Edizioni, Turin
- LICATA, I. (2009), *Teorie del Quasi-Ovunque. Riduzionismo ed Universalità dell'Emergenza*, in Maldonato, M. & Pietrobbon, R. (Eds), *Pensare la Ricerca*, Bruno Mondadori, Milan
- MAGNANI, L. (2006), *Model Based Reasoning in Science and Engineering*, College Publications
- MARR, D. (1983), *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*, W. H. Freeman
- MATURANA, H., VARELA, F. (1992), *Tree of Knowledge*, Shambhala
- MINATI, G., PESSA, E., PENNA M. P. (1998), *Thermodynamical and Logical Openness in General Systems*, in *Syst. Res. and Behav Sc.*, 15, pp. 131-145
- MINATI, G., GUBERMAN, S. (2007), *Dialogue about Systems*, Polimetrica International Scientific Publisher
- MINATI, G. (2008), *New Approaches for Modelling Emergence of Collective Phenomena*, Polimetrica International Scientific Publisher
- NICOLIS, G., PRIGOGINE, I. (1989), *Exploring Complexity: An Introduction*, W.H. Freeman & Company
- PESSA, E. (2002), *What is Emergence?*, in *Emergence in Complex, Cognitive, Social and Biological Systems*, Minati G., Pessa E. (eds), Kluwer
- RYAN, A.,J. (2007), *Emergence is Coupled to Scope, not Level*, in *Complexity*, 13, 1, pp.67-77
- SINGER, W.E., GRAY, C.M. (1995), *Visual Feature Integration and the Temporal Correlation Hypothesis*, in *Ann. Rev. Neurosci.*, 18, pp. 555-586
- SMOLENSKY, P., GÉRALDINE LEGENDRE, P. (2006), *The Harmonic Mind: From Neural Computation to Optimality - Theoretic Grammar*. Volume I : Cognitive Architecture; Volume II: Linguistic and Philosophical Implications, MIT Press
- TAGLIASCO, V., MANZOTTI, R. (2008), *L'Esperienza. Perché i neuroni non spiegano tutto*, Codice Edizioni, Turin
- THAGARD, P., R. (1993), *Computational Philosophy of Science*, MIT Press
- VÁMOS, T. (1991), *Computer Epistemology: A Treatise on the Feasibility of the Unfeasible or Old Ideas Brewed New*, World Scientific
- VARELA, F., RODRIGUEZ, E., GEORGE, N., LACHAUX, J. P., MARTINERIE, J., RENAULT, B. (1999), *Perception's Shadow: Long-Distance Synchronization in the Human Brain*, in *Nature*, 397, pp. 340-343
- VITIELLO, G. (2001), *My Double Unveiled: The Dissipative Quantum Model of Brain*, John Benjamins Pub Co
- VON FOERSTER, H. (1999), *Observing Systems*, Intersystems Publications
- WOLFRAM, S. (2002), *A New Kind of Science*, Wolfram Media
- ZEKI, S. (2000), *Inner Vision: An Exploration of Art and the Brain*, Oxford University Press.