

**Università degli Studi di Pavia
Scuola Universitaria Superiore**

Matteo Piazza

**Razionalizzare il *contesto della scoperta*:
Dalla conoscenza inespressa alla creatività scien-
tifica**

Anno Accademico 2001/2002

1. INTRODUZIONE

Una teoria completa della cognizione richiede la comprensione di una delle più complesse e creative forme di conoscenza elaborate dalla mente umana: la conoscenza scientifica. In particolare, di grande interesse sono i processi che stanno alla base del ragionamento creativo, motore primo della dinamica di comprensione e spiegazione che, talvolta porta, all'interno delle scienze naturali, a mutamenti concettuali sensazionali (si veda, ad esempio, Thagard, 1992).

Divenuto centrale nel 1962 con la pubblicazione del libro di Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, il problema del mutamento concettuale è stato, negli ultimi decenni, al centro del dibattito filosofico. Fino alla metà degli anni Sessanta in filosofia della scienza aveva dominato l'approccio dell'empirismo logico, ben rappresentato da filosofi come Carnap o Hempel. L'empirismo logico, analizzando la crescita della conoscenza scientifica, aveva caratterizzato il mutamento concettuale come continuo e cumulativo, tentando di giustificarlo razionalmente attraverso i mezzi forniti dalla moderna logica formale. Gli empiristi logici erano infatti interessati alla struttura logica della scienza piuttosto che alle modalità storiche e psicologiche del suo sviluppo (si veda, come caso emblematico, Popper, 1959).

Kuhn, sfidando questo punto di vista, accusò l'empirismo logico di insensibilità storica: "La storia, se fosse considerata come qualcosa di più che un deposito di aneddoti o una cronologia, potrebbe produrre una trasformazione decisiva dell'immagine della scienza dalla quale siamo dominati" (1978, p. 19). Il mutamento concettuale nelle scienze, affermò Kuhn, tutt'altro che continuo, è invece assimilabile ad una sorta di *Gestalt-switch*, irrazionale e per nulla analizzabile. Argomentando che i mutamenti scientifici principali sono meglio caratterizzati in termini di "rivoluzioni", le quali comportano il rovesciamento di un sistema concettuale e la sua sostituzione con un paradigma alternativo incommensurabile, Kuhn spinse i filosofi della scienza, nel Ventesimo secolo, a distinguere tra *contesto della scoperta* e *contesto della giustificazione* (a distinguere, cioè, tra l'aspetto psicologico dell'inventare e l'argomento logico del provare con i fatti le idee trovate) e alla conclusione che, della "scoperta", non esiste nessuna logica, nessun possibile modello *razionale*.

L'attitudine ad interpretare l'impresa scientifica in termini irrazionali e catastrofici è stata ormai in larga parte abbandonata. L'attenzione di coloro che lavorano al problema del mutamento scientifico è ora focalizzata sulla questione della scelta *razionale* tra ipotesi e teorie in competizione: si tratta, cioè, di risolvere il problema di come gli scienziati combinino le normali abilità cognitive umane con le risorse concettuali messe a disposizione dalla comunità scientifica, riuscendo così ad elaborare e rendere comunicabili nuove rappresentazioni.

Per gran parte degli studiosi di scienze cognitive, la scienza altro non è che una sorta di "sistema simbolico", descrivibile da modelli computazionali: per difendere l'argomento della razionalità, in base alla convinzione che una perfetta comprensione dei processi mentali sia possibile soltanto attraverso una loro riproduzione computazionale (si veda Johnson-Laird, 1983), questi modelli sono stati implementati, nel settore dell'intelligenza artificiale (AI), in programmi dove strutture di dati e procedure di computazione corrispondono alle strutture e ai processi mentali postulati (Thagard, 1992).

Per comprendere meglio il complesso problema del mutamento concettuale nelle scienze, e per capire come sia possibile introdurre nuovi importanti concetti, respon-

sabili di tale mutamento, tuttavia non bastano le idee elaborate in settori dell'AI, quali la rappresentazione della conoscenza, il *problem-solving*, o il *machine learning*. Le teorie scientifiche contengono infatti molte ipotesi teoriche che non possono essere costruite grazie a semplici osservazioni o generalizzazioni. Nella tradizione recente un ruolo chiave è svolto dunque dal concetto di *abduzione*.

2. ABDUZIONE E SPIEGAZIONE

E' stato il filosofo americano Charles S. Peirce a mettere in risalto il concetto di abduzione, considerandola il meccanismo fondamentale grazie al quale è possibile giustificare l'introduzione di nuove ipotesi esplicative.

Per comprendere meglio il ruolo giocato dall'abduzione nel processo di spiegazione scientifica, è interessante porre una distinzione tra abduzione *teoretica* (*sentential* e *model-based*) e abduzione *manipolatoria*. L'abduzione teoretica consiste nell'inferire determinati fatti e/o leggi e ipotesi in grado di rendere plausibile un particolare enunciato; è il processo grazie al quale possiamo *spiegare* (o *scoprire*) determinati fenomeni tramite l'elaborazione di ipotesi esplicative. Questo lato dell'abduzione è senza dubbio fondamentale ed è in grado di illustrare una gran parte di ciò che è importante nei processi di ragionamento creativo, ma fallisce quando deve rendere conto di molti casi in cui, per la spiegazione scientifica, è cruciale l'utilizzo dell'ambiente esterno. Non è infatti in grado di spiegare quei casi in cui è possibile parlare di una "*discovery through doing*", casi in cui viene codificata nuova informazione, prima inespressa, attraverso la manipolazione di un qualche oggetto esterno: l'azione fornisce informazioni altrimenti non disponibili che permettono all'agente razionale di risolvere un dato problema. E' allora utile ricorrere al concetto di abduzione *manipolatoria*.

2.1. Il lato "interiore" del ragionamento creativo

Nel corso della sua carriera Peirce difese l'esistenza di un terzo genere di inferenza, insieme a deduzione e induzione, considerandola l'unico mezzo in grado di consentire un effettivo incremento della conoscenza oggettiva: l'*abduzione*.

La scienza cresce e si sviluppa, ma questo continuo arricchimento non può certo essere dovuto a ragionamenti di tipo deduttivo, né tanto meno induttivo: la deduzione non produce infatti alcuna nuova idea; dall'induzione derivano invece idee troppo semplici, delle mere generalizzazioni. Le nuove idee scientifiche possono nascere soltanto grazie all'abduzione, un particolare tipo di inferenza "non-deduttiva" responsabile della generazione e della valutazione di nuove ipotesi. L'abduzione e' una delle componenti principali all'interno del processo di costruzione delle teorie scientifiche. La conoscenza della scienza moderna e' infatti gerarchica a tre livelli. Al livello piu' basso esistono i dati empirici; essi vengono organizzati a un livello di astrazione superiore in generalizzazioni; e queste vengono a loro volta organizzate in teorie di spiegazione. Normalmente il modo in cui si passa dai dati alla generalizzazione e' l'induzione, e il modo in cui si passa dalle generalizzazioni alla teoria e' l'abduzione. La teoria viene infatti costruita prendendo in esame le ipotesi plausibili e una libreria

di astrazioni di ipotesi. Astrazioni di ipotesi sono, per esempio, la selezione darwiniana e l'inverso del quadrato: sono astrazioni di ipotesi ricavate dal passato della scienza, sono tipi ricorrenti di teorie. La storia della scienza serve cioè come sorgente di "senno di poi" compilato in forma procedurale per costruire astrazioni che possano dare origine ad altre teorie.

I ricercatori hanno tentato di modellare l'abduzione in modi differenti, sviluppando degli strumenti formali in grado d'illustrarne le proprietà computazionali e le relazioni con differenti forme di ragionamento deduttivo (Bylander et. al., 1991). Molti di questi modelli sono basati sulla teoria di *stato epistemico* di un agente (Boutillier e Becher, 1995), rappresentato come un insieme di credenze consistenti in grado di mutare per espansione o contrazione (*belief revision framework*): una qualsiasi spiegazione di β , relativamente ad una certa teoria T , è costituita da ogni α (unito a T in modo che $\alpha \cup T$ sia consistente) da cui sia possibile derivare β . Queste teorie possono essere solitamente generalizzate in diverse direzioni: prima di tutto dimostrando che le conclusioni derivate da una certa spiegazione sono puramente *provvisorie* (potrebbero infatti esserci molte altre spiegazioni possibili), coinvolgendo in questo modo l'intero settore della logica non-monotonica o dell'analisi probabilistica; provando a mostrare, in secondo luogo, che alcune delle spiegazioni possibili sono implausibili ed elaborando, così, strumenti tecnici (ad esempio di termini di logica modale) in grado di catturare la nozione di "preferenza" all'interno di un insieme di spiegazioni differenti.

Studiare in questo modo l'abduzione, da un punto di vista puramente proposizionale-sintattico, significa però badare esclusivamente all'atto di preservare la *consistenza* all'interno dell'insieme delle proposizioni in questione, considerando soltanto l'aspetto *selettivo*¹ dell'abduzione (si vedano ad esempio i modelli del ragionamento diagnostico in medicina in Magnani, 1997). Modelli di questo tipo, considerando radicale ed istantaneo l'atto del "creare", nulla ci dicono dei processi *creativi* che sono in gioco nella scienza, del modo in cui vengono introdotte nuove ipotesi e teorie; sono perciò perfettamente compatibili con una visione irrazionale e catastrofica simile a quella descritta da Kuhn. Secondo Peirce l'abduzione è un processo inferenziale che comprende tutte le operazioni necessarie alla costruzione di nuove ipotesi e teorie. Il processo abduttivo non va dunque inteso in termini puramente selettivi: si tratta infatti non di un'inferenza deduttiva verofunzionale (nel senso della logica formale classica), ma piuttosto di un'inferenza in grado di *ampliare* la conoscenza.

Se vogliamo dunque analizzare gli aspetti più interessanti del ragionamento scientifico e i casi più eclatanti di mutamento concettuale, non dobbiamo limitarci alla descrizione proposizionale-sintattica, ma considerare un quadro inferenziale più ampio: il lato *model-based* dell'abduzione creativa (l'abduzione che ricorre all'utilizzo di modelli). I modelli proposizionali sono infatti piuttosto limitati, in quanto non riescono a catturare alcune caratteristiche dei processi di pensiero creativo: 1) il ruolo delle spiegazioni statistiche, dove le conclusioni di una spiegazione seguono solo probabilisticamente e non deduttivamente dalle premesse; 2) l'idea che esista un tipo di abduzione creativa d'alto livello; 3) il fatto che spesso una spiegazione non è completa, ma rende conto soltanto parzialmente dei dati pertinenti; 4) il fatto che una delle virtù più importanti di una nuova ipotesi (o teoria) scientifica è la sua capacità di

¹ E' importante distinguere tra abduzione *selettiva* (che si limita a scegliere una spiegazione all'interno di un'enciclopedia già disponibile di ipotesi) e abduzione *creativa* (che non si limita a scegliere, ma genera nuove ipotesi).

spiegare fatti *nuovi*, precedentemente sconosciuti: “[...] questi fatti saranno [...] sconosciuti nel momento in cui verranno addotti e, a maggior ragione, sconosciuti dovranno essere quei dati ausiliari che aiuteranno a spiegarli. Quindi, questi futuri e fino allora sconosciuti *explananda* non potranno di certo essere inclusi nelle premesse dell’inferenza abduttiva” (Hintikka, 1998), poiché le osservazioni compiute diventeranno esplicabili soltanto grazie a nuove ipotesi e teorie, una volta che siano state scoperte grazie a processi abduttivi. E’ quindi nei termini di abduzione *model-based* che dobbiamo cercare di spiegare e comprendere processi complessi come il mutamento concettuale scientifico.

Il termine “*model-based reasoning*” viene utilizzato per indicare la costruzione e la manipolazione di generi differenti di rappresentazioni mentali e/o correlate a mediatori esterni, non soltanto proposizionali e formali (chiamando, infatti, in causa anche diagrammi, immagini mentali, modelli fisici, analogie, esperimenti mentali...) (Nersessian, 1999). L’idea deriva direttamente dalla teoria dei “modelli mentali” sviluppata da Johnson-Laird (1983). Un modello mentale è una rappresentazione *interpretata* (per cui già dotata di un livello *semantico*) di un qualsiasi fenomeno; senza di esso non è possibile una reale comprensione. Sebbene gli studiosi stiano tuttora discutendo sull’esistenza di rappresentazioni differenti dalle mere rappresentazioni proposizionali (semplici stringhe di simboli), stando a quanto afferma Johnson-Laird è possibile assumere l’esistenza di almeno tre tipi di rappresentazioni mentali (si vedano i risultati sperimentali in Marucci, 1998): 1) *rappresentazioni proposizionali* (stringhe di simboli, come “il vaso è sul tavolo”); 2) *modelli mentali* (rappresentazioni schematiche strutturalmente analoghe a situazioni reali o immaginarie e indipendenti dal contesto); 3) *immagini mentali* (l’elaborazione di un modello mentale da una prospettiva specifica).

Secondo Peirce tutta l’attività del pensiero si compie grazie a “segni”, icone, indici o simboli, intendendo come “segni” anche sensazioni, credenze, immagini e, in termini kantiani, ogni forma sintetica di cognizione. Una parte significativa dell’attività di pensiero è dunque *model-based*.

Il *model-based reasoning* acquista le sue caratteristiche più rilevanti, quelle creative, quando incorporato in processi di tipo abduttivo (è possibile così parlare di *model-based abduction*).

2.2. Conoscenza inespressa e creazione di conoscenza

L’abduzione *model-based* è tanto importante proprio perché in grado di rendere esplicite tutta una serie di informazioni essenziali, inesprese al livello dei dati disponibili: riveste un ruolo fondamentale nel processo di trasformazione della conoscenza da una forma *tacita* ad una *esplicita* (Magnani e Piazza, 2002a).

Come messo in luce da Polanyi nelle sue ricerche epistemologiche (1966), gran parte della conoscenza non è esplicita, ma tacita: sappiamo più di quanto possiamo esprimere, e nulla potremmo conoscere se non ci affidassimo a ciò che spesso non siamo in grado di spiegare e comunicare. L’idea di conoscenza sostenuta da Polanyi si basa su tre assunti: 1) non è possibile rendere conto di alcuna scoperta facendo semplicemente ricorso ad un insieme articolato di regole e algoritmi; 2) la conoscenza “pubblica” è per gran parte anche “personale” (è cioè costruita da esseri umani e

quindi contiene emozioni, "passioni"); 3) una parte importante della conoscenza è tacita.

Ogni attività è dunque sottesa da due livelli di conoscenza mutualmente esclusivi, ma complementari, giacché interagiscono in compiti di tipo creativo: esiste una conoscenza *focale*, la conoscenza inerente all'oggetto o al fenomeno sotto osservazione; ma esiste anche un secondo tipo di conoscenza, che possiamo chiamare *tacita*, mascherata dalla prima, spesso utilizzata per maneggiare ed espandere la conoscenza di ciò che si trova sotto osservazione. La prima è la conoscenza trasmissibile attraverso un qualsiasi linguaggio sistematico, poiché può essere facilmente formulata e digitalizzata attraverso espressioni simboliche. Dall'altro lato, la conoscenza tacita è caratterizzata dal fatto di essere personale, contesto-specifica e derivata direttamente dall'esperienza, quindi difficilmente formalizzabile e comunicabile. E' una sorta di *know-how*, non strutturato né codificato, acquisito grazie a procedure pratiche di manipolazione della realtà esterna (ed esemplificato dall'attività di apprendistato) (Howells, 1996).

Fleck (1996) descrive questa forma di conoscenza come un "livello sottile di comprensione spesso difficile da rendere in parole, un riconoscere e un percepire abilmente ammaestrati" (p. 119). La conoscenza tacita è radicata nella pratica e nell'esperienza dell'individuo, si esprime attraverso l'abile esecuzione manuale ed è acquisita tramite forme dirette di apprendimento ("fare" e "guardare").

Come afferma Polanyi, gli esseri umani acquistano ed utilizzano conoscenza creando e organizzando attivamente la propria esperienza: la conoscenza tacita è la conoscenza pratica utilizzata nell'esecuzione di un certo compito. In alcuni casi, il resoconto concettuale del modo in cui questo compito viene svolto era precedentemente disponibile in memoria, ma si è poi deteriorato ed è ora necessario riprodurlo; in altri casi un resoconto non esiste e deve essere costruito per la prima volta, come succede nella scienza, all'interno di un contesto sperimentale creativo.

E' stato sottolineato troppo spesso che il mutamento concettuale nelle scienze coinvolge puramente una sostituzione *teoretica* e "*interiore*" dei concetti principali. Solitamente i ricercatori dimenticano che una gran parte del mutamento concettuale è invece dovuta in larga parte a *manipolazioni pratiche* ed "*esteriori*", che sono il prerequisito fondamentale del successivo lavoro di elaborazione della conoscenza e strutturazione teorica. A volte per gli scienziati è fondamentale una prima "grezza" esperienza del mondo per sviluppare i loro sistemi, come ben messo in luce da un'analisi *storico-cognitiva* del mutamento scientifico (Gooding, 1990, Nersessian, 1992).

La prospettiva dominante tra i filosofi della scienza considera i processi di scoperta, e le nuove rappresentazioni scientifiche da questi emergenti, troppo misteriosi e dunque difficilmente afferrabili. Questo punto di vista è rafforzato da numerosi casi di scoperta avvenuta, apparentemente, in seguito a improvvise intuizioni di genio (esemplificate dall'*eureka* di Archimede). Ciò che non viene considerato in questo genere di resoconti è il periodo di intensa e ardua attività di pensiero, spesso accompagnato da esperimenti e *manipolazioni* di oggetti esterni, che precede la scoperta "improvvisa". E' importante capire che l'attività scientifica è un'attività *complessa* e *dinamica*, in cui nuove rappresentazioni non sorgono improvvisamente mature dalla testa degli scienziati, ma vengono costruite in risposta a problemi specifici che via via si presentano ai ricercatori (come sottolineato dall'idea del *problem-solving process* di Herbert Simon) grazie all'uso sistematico di procedure euristiche.

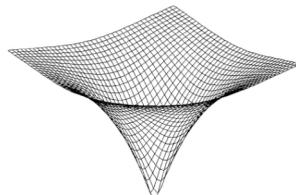
Le tradizionali indagini su come tali euristiche portino alla creazione di rappresentazioni si sono preoccupate di analizzare l'uso ricorrente del ragionamento analogico, del ragionamento ipotetico e degli esperimenti *mentali*. Non hanno invece prestato attenzione ad un tipo particolare di euristica che giustifica l'esistenza di un pensiero *extra-teoretico* (*thinking through doing*), centrato su rappresentazioni *esteriori*, intese come mezzi tramite cui è possibile creare un resoconto comunicabile di nuove esperienze.

Intuizioni interessanti riguardo questi problemi provengono da un approccio differente, che si discosta dal paradigma computazionale di Simon, ma in grado di offrire una soluzione razionale al problema della creatività e del mutamento concettuale in termini di modelli matematici: l'approccio *dinamico* alle scienze cognitive. La visione computazionale classica tratta la cognizione nei termini di un processo che computa rappresentazioni simboliche interne del mondo esterno. Questo approccio però è troppo riduttivo proprio perché basato sull'ipotesi *funzionalista* (ciò che importa sono esclusivamente i processi cognitivi, non importa quale sia l'*hardware* su cui vengono implementati), che non è in grado di rendere la dimensione *esterna* della cognizione, e sulla computazione di entità *statiche*, preesistenti al sistema. E' di grande utilità integrare questo approccio con un modello *dinamico* della cognizione, in grado di descrivere i processi abduktivivi nei termini di *entità dinamiche* che si "rivelano" evolvendo nel tempo (avendo, così, anche una migliore prospettiva storico-cognitiva) (Magnani e Piazza, 2002b). E' allora possibile modellare gli elementi (siano essi oggetti o proposizioni) che entrano in gioco nell'inferenza abduktiviva in termini di *attrattori* di un sistema dinamico, specificando *topologicamente* il contenuto *semantico* del processo inferenziale grazie all'interazione degli attrattori che definiscono il sistema.² In questo modo è possibile intendere il processo di graduale sviluppo di "nuovi" concetti e di sostituzione di quelli vecchi nei termini dell'evoluzione temporale di configurazioni geometriche definite dagli attrattori.

Ciò che rende l'approccio dinamico particolarmente interessante è l'importanza da esso assegnata all'*intero* sistema cognitivo: l'attività cognitiva è infatti il risultato della complessa interazione e simultanea coevoluzione, nel tempo, di mente, corpo e ambiente esterno. Sebbene gran parte dell'attività cognitiva avvenga interiormente e

² Il termine "dinamico" si riferisce, semplicemente, al modo in cui un sistema evolve (o si comporta) col passare del tempo. In generale un *sistema* è una qualche collezione di parti correlate percepita come una singola entità (come lo sono il sistema solare o il sistema nervoso). Un sistema dinamico è un qualsiasi sistema concreto che muta nel tempo. Ciò che cambia è lo *stato* del sistema. Il termine "stato" altro non indica se non l'aspetto complessivo del sistema in un dato momento. E' possibile studiare il *comportamento* del sistema analizzandone i mutamenti di stato. Il sistema dinamico è definito dallo spazio di tutti i possibili stati che il sistema può assumere (*spazio degli stati*) e da una regola (la *dinamica*) per determinare, partendo dallo stato presente, l'evoluzione del sistema in un dato momento (Hirsch, 1984).

La complessità di alcuni sistemi dinamici fa sì che essi assumano un comportamento non lineare ed erratico, saltando da un punto dello spazio degli stati a un altro molto differente in un breve periodo di tempo (come succede per le condizioni atmosferiche). Nonostante la presenza di cambiamenti improvvisi e notevoli di questo genere, però, i sistemi dinamici contengono una serie di stati stabili, chiamati *attrattori*, che tendono a rimanere stabili.



Si pensi ad un attrattore nei termini della figura: una biglia che rotola su di un piano fino ad incontrare una cavità di questo tipo. La biglia vi cadrà dentro, cominciando a ruotare, fino a raggiungere la posizione di riposo nel fondo della buca. L'attrattore altro non è che il punto fisso corrispondente alla posizione di riposo.

sia composta dalla conoscenza dell'individuo e dalle sue capacità razionali, un sistema cognitivo *reale* esiste soltanto in funzione di una "cognizione distribuita" tra l'individuo stesso e l'ambiente esterno (Hutchins, 1995, Norman, 1993). Il sistema cognitivo non è composto semplicemente dalla mente del soggetto, ma dall'intero di mente-corpo e mediatori esterni utilizzati.

Una rappresentazione esterna può infatti modificare l'approccio utilizzato dal sistema nel ragionare intorno a un problema: ad esempio, la numerazione romana, grazie all'introduzione di segni esterni, ha eliminato gran parte delle computazioni più difficili nell'addizione, mentre la numerazione araba ha fatto lo stesso con la moltiplicazione. La capacità interna di ragionare deriva dunque dall'interiorizzazione di forme di rappresentazione in origine esteriori. Nel caso delle rappresentazioni esterne possiamo utilizzare diverse forme di conoscenza oggettivata (simboli fisici - ad esempio i simboli di un alfabeto, o oggetti fisici - ad esempio modelli tridimensionali), ma anche regole, relazioni e vincoli incorporati in situazioni fisiche (relazioni spaziali, vincoli fisici all'interno di diagrammi geometrici) (Zhang, 1997). Queste rappresentazioni esterne si contrappongono a quelle interne, che possono consistere di proposizioni, schemi, reti neurali, modelli, immagini e prototipi conservati in memoria.

Le rappresentazioni esterne non costituiscono soltanto un aiuto per la memoria: permettono l'accesso ad informazioni non disponibili alle sole rappresentazioni interne, aiutano ad identificare facilmente aspetti importanti alla realizzazione di inferenze, restringono il numero delle possibili scelte proibendo determinate azioni. La mente umana è limitata dal ristretto numero di informazioni che può processare simultaneamente, dalle sue capacità di memoria e attenzione e dalla relativa lentezza di alcune operazioni di ragionamento e apprendimento; dall'altro lato, l'ambiente esterno è troppo complesso, a causa dell'eccessiva quantità di dati che accadono nel tempo "reale" e per tutta una serie di fattori di incertezza. Di conseguenza, è importante considerare l'intero sistema costituito sia dalle rappresentazioni interne sia da quelle esterne, e il ruolo relativo che ciascun tipo di rappresentazione riveste nell'ottimizzare la *performance* cognitiva globale. E' del resto ben noto che nella storia della geometria, per fare un esempio, molti ricercatori hanno utilizzato immagini mentali e rappresentazioni interiori di diagrammi, ma anche e soprattutto disegni e diagrammi esterni come ausilio al loro studio.

3. MANIPOLARE RAPPRESENTAZIONI ESTERNE

Si è introdotta precedentemente la nozione di *conoscenza tacita*. E' possibile proporre un'estensione di questo concetto: esiste una sorta di conoscenza tacita "incorporata" nella relazione globale del sistema composto di mente-corpo e rappresentazioni esterne, informazione che possiamo esplicitare ed utilizzare nella soluzione di problemi (com'è chiaramente mostrato dal problema geometrico presentato nel *Menone* platonico).

Secondo Peirce qualsiasi attività cognitiva costituisce un'inferenza, non soltanto il pensiero conscio astratto. Egli dà un esempio interessante di abduzione *model-based* relativa all'attività dei sensi, in cui il soggetto fa ricorso alla propria conoscenza implicita attraverso una manipolazione tattile: "Un uomo può riconoscere tipi differenti di tessuto al tatto, ma non subito, poiché ha bisogno di tastare il tessuto e questo di-

mostra che deve confrontare le sensazioni che riceve in un certo momento con quelle ricevute in un altro momento" (Peirce, 5.221). Quest'idea suggerisce che i meccanismi abduitivi possiedono anche interessanti caratteristiche *extra-teoretiche* e che, all'interno del ragionamento abduitivo, un ruolo è svolto dalla manipolazione, in differenti modalità, di oggetti esterni. L'intero processo della conoscenza è un processo inferenziale e l'inferenza non è istantanea, è il risultato di un processo che richiede un'attività di comparazione di modelli differenti in un intervallo di tempo più o meno grande.

Queste considerazioni suggeriscono l'esistenza di una forma creativa di "*thinking through doing*"³ fondamentale tanto quanto il pensiero teoretico: quella che possiamo chiamare *abduzione manipolatoria* (Magnani, 2001). E' possibile parlare di abduzione manipolatoria quando "pensiamo agendo" e non solo, in senso pragmatico, quando "ragioniamo intorno all'agire". E' un comportamento razionale volto alla creazione di resoconti comunicabili di esperienze nuove e alla loro integrazione nell'enciclopedia preesistente di pratiche sperimentali e linguistiche.

Alcune caratteristiche dell'abduzione manipolatoria, grazie alle quali possiamo "manipolare" cose e apparati sperimentali nella scienza, sono relative a: 1) la sensibilità a quegli aspetti *curiosi* e *anomali* di un fenomeno; 2) la sensibilità al carattere *dinamico* di un fenomeno, non soltanto a singole entità e alle loro caratteristiche; al fine di riordinare la sequenza dinamica di certi eventi in una rappresentazione spaziale statica indipendente dal contesto (grazie a narrazioni, immagini o diagrammi); 3) la possibilità di manipolazioni sperimentali volte alla costruzione di apparati artificiali che garantiscano fonti stabili di informazione, nuova e ripetibile; 4) diversi generi di attività epistemica: osservare da prospettive differenti, verificare le informazioni disponibili, comparare eventi in successione, scegliere, scartare o immaginare ulteriori manipolazioni, riordinare e cambiare rapporti esistenti valutando implicitamente l'utilità di un nuovo ordinamento.

Gooding (1990) si riferisce a questo genere di ragionamento manipolatorio concreto quando illustra il ruolo svolto nella scienza dai cosiddetti "costrutti", che incorporano inferenze tacite in procedure spesso basate su apparati e macchinari. Queste inferenze derivano da manipolazioni esperte di oggetti in contesti sperimentali controllati e sono dirette da processi abduitivi che implicano l'applicazione strategie vecchie e nuove per lo più connesse a componenti extra-teoretiche, ad esempio emotive, estetiche, etiche o economiche.

Il carattere ipotetico dei costrutti è evidente: possono essere scartati, o sviluppati per esaminare ulteriori possibilità; costituiscono un'organizzazione provvisoria e creativa della realtà (alcune diventano addirittura ipotetiche *interpretazioni* dell'esperienza, dopo essersi gradualmente stabilizzate in seguito a pratiche d'osservazione fissate). Una nuova interpretazione, inizialmente carica da un punto di vista pragmatico, gradualmente viene riformulata in chiave teoretica (narrativa, visuale, diagrammatica, simbolica) sempre più simili agli effetti costruttivi dell'abduzione teoretica. In questo modo, attraverso costrutti più o meno teorici, è possibile costruire, ricostruire e distribuire una certa esperienza all'interno di una rete di negoziazioni fra più scienziati. Lo scopo finale dell'abduzione manipolatoria è

³ Attività in cui "l'agire" riveste un ruolo non soltanto performativo, ma anche e soprattutto *epistemico*.

infatti quello di costruire un qualche *mediatore epistemico*⁴ in grado di funzionare da sorgente di nuova informazione e conoscenza. L'abduzione manipolatoria rappresenta quindi una sorta di redistribuzione dello sforzo epistemico e cognitivo volta alla gestione di oggetti e informazioni che non possono essere rappresentate immediatamente o rinvenute interiormente.⁵

I mediatori epistemici esibiscono caratteristiche molto interessanti: 1) la manipolazione elabora una *semplificazione* del compito e una redistribuzione degli sforzi nel tempo, quando dobbiamo manipolare oggetti concreti per poter comprendere strutture che sarebbero altrimenti troppo astratte (si veda, ad esempio, Piaget, 1974), o quando siamo in presenza di informazioni *ridondanti* e difficilmente maneggiabili; 2) l'attività manipolatoria può essere utile in presenza di informazioni *incomplete* o *inconsistenti*: può essere utilizzata per ottenere nuovi dati necessari al recupero della coerenza o per integrare le informazioni già disponibili; 3) l'azione può servire da *parametro di controllo dei dati sensibili*: possiamo infatti mutare la posizione del nostro corpo (e/o di oggetti esterni) e costruire diversi tipi di *protesi* (come il telescopio di Galileo) per ottenere nuove stimolazioni; l'azione provvede così informazioni visuali e tattili (come accade, ad esempio, in chirurgia) altrimenti non disponibili. Anche i fenomeni naturali possono svolgere il ruolo di modelli artefatti esterni: in seguito alle manipolazioni degli abitanti della Micronesia, le stelle diventano "uno dei più importanti e strutturati mezzi di rappresentazione" (Hutchins, 1995, p. 172). In questo modo le proprietà dei modelli esterni permettono al sistema cognitivo di superare il confine esistente tra individuo e ambiente (permettono cioè quello che già è stato indicato come un processo cognitivo distribuito).

4. CONCLUSIONI

E' chiaro che la manipolazione di oggetti esterni aiuta gli esseri umani nell'esecuzione di compiti di tipo creativo. A tal proposito è stato illustrato il ruolo strategico giocato dal concetto di "conoscenza implicita" nei termini della più recente nozione cognitiva ed epistemologica di abduzione manipolatoria, intesa come genere particolare di abduzione in grado di esplicitare modelli esterni dotati di ruoli e attributi cognitivi. La strategia che organizza le manipolazioni è del tutto sconosciuta *a priori*.

Se guardiamo alla nascita della scienza moderna, è possibile rinvenire una situazione epistemologica del tutto simile a quella delineata nella sezione precedente. Nel "*Dialogo sui due massimi sistemi*", accentuando il ruolo delle manipolazioni a scopi osservativi, Galileo ci presenta un anatomista che, "manipolando" un cadavere, è in grado di ottenere nuova conoscenza, non puramente speculativa, che va ben al di là del "mondo di carta" della filosofia peripatetica: nella scienza gran parte della cono-

⁴ Questa espressione è derivata dall'antropologo cognitivo Hutchins (1995), che ha coniato l'espressione "struttura mediante" per riferirsi a vari artefatti che possono essere costruiti per aiutare, da un punto di vista cognitivo, l'attività della navigazione in scenari sia primitivi che moderni. Qualsiasi procedimento di scrittura costituisce un semplice esempio di "struttura mediante" a scopi cognitivi, così come i simboli matematici e i diagrammi: "Il linguaggio, il patrimonio culturale, i modelli mentali, le regole dell'aritmetica e della logica sono strutture medianti. Così come un semaforo, la pianta di un supermercato[...]. Le strutture medianti possono essere incorporate in artefatti, idee, sistemi d'interazione sociale [...]" (Gooding, 1995, pp. 290-291).

⁵ Ne sono un esempio le immagini mentali, all'interno delle quali è difficile preservare le corrette relazioni geometriche e spaziali.

scienza viene elaborata attraverso osservazioni ed esperimenti, e gli esperimenti sono il frutto di manipolazioni artefattuali di vario genere: strategie differenti corrispondono a manipolazioni esperte di oggetti in contesti sperimentali fortemente controllati, dirette da processi abduittivi che richiedono l'applicazione di strategie di comportamento extra-teoretiche più o meno nuove. Lo stesso Peirce sottolinea questo punto parlando di ragionamento matematico e geometrico che "consiste nel costruire un diagramma seguendo una regola generale, nell'osservare certe relazioni, non richieste esplicitamente dalla regola, tra le parti di quel diagramma, mostrando che queste relazioni saranno valide per tutti i diagrammi dello stesso tipo e formulando questa conclusione in termini generali" (Peirce, 1.54).

La pratica scientifica è costellata di aspetti procedurali, extra-proposizionali e extra-teoretici indispensabili nel processo di acquisizione di informazioni altrimenti difficili da ottenere. Rendendo esplicite queste informazioni possiamo giungere alla creazione di nuova conoscenza da integrare nell'enciclopedia scientifica preesistente.

Lo sviluppo di analisi epistemologiche di questo tipo, relative ad importanti abilità umane, permette di accrescere la conoscenza di quei processi di pensiero che coinvolgono aspetti creativi, analogici, spaziali e simulativi, sia nella scienza che nella vita di tutti i giorni.

BIBLIOGRAFIA

- Boutilier, C., Becher, V. (1995). Abduction as belief revision, *Artificial Intelligence*, 77, pp. 43-94.
- Bylander, T., Allemang, D., Tanner, M.C., Josephson, J.R. (1991). The computational complexity of abduction, *Artificial Intelligence*, 49.
- Fleck, J. (1996). Informal information flow and the nature of expertise in financial service, *International Journal of Technology Management*, 11(1-2), pp. 104-128.
- Gooding, D. (1990). *Experiment and the Making of Meaning*. Dordrecht, Kluwer.
- Hintikka, J. (1998). What is abduction? The fundamental problem of contemporary epistemology, *Transactions of the C.S. Peirce Society*, 34, pp. 503-533.
- Hirsch, M.W. (1984). The dynamical systems approach to differential equations, *Bulletin of the American Mathematical Society*, 11, pp.1-64.
- Howells, J. (1996). Tacit knowledge, innovation and technology transfer, *Technology Analysis and Strategic Management*, 8(2), pp. 91-105.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. Cambridge, The MIT Press, MA.
- Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental Models*. Cambridge, MA, Harvard University Press (trad. it. *Modelli Mentali*, Bologna, Il Mulino, 1988).
- Kuhn, T.S. (1978). *The Structure of Scientific Revolutions* (1962). Chicago, University of Chicago Press (trad. it. della seconda edizione (1970), *La Struttura delle Rivoluzioni Scientifiche. Come Mutano le Idee della Scienza*, Torino, Einaudi).
- Magnani, L. (1997). *Ingegnerie della Conoscenza*. Milano, Marcos y Marcos.

- Magnani, L. (2001). *Abduction, Reason, and Science. Processes of Discovery and Explanation*. New York, Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Magnani, L., Piazza M., (2002a). Abduction as a rational means to creativity. Unexpressed knowledge and scientific discovery. 15th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2002), Lyon, France.
- Magnani, L., Piazza M. (2002b). Morphodynamical abduction: causation by attractors dynamics of explanatory hypotheses in science. International Conference *Causation and Explanation in Natural and Social Science* (CENSS 2002), Ghent, Belgium.
- Marucci, F.S. (ed.) (1998). *Le Immagini Mentali. Teorie e Processi*. Roma, Carocci.
- Nersessian, N.J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science, R. Giere (ed.), *Cognitive Models of Science – Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Minneapolis, University of Minnesota Press, pp. 3-44.
- Nersessian, N.J. (1999). Model-based reasoning in conceptual change, N.J. Nersessian, L. Magnani and P. Thagard (eds.), *Model-based Reasoning in Scientific Discovery*. New York, Kluwer Academic/Plenum Publishers, pp. 5-22.
- Norman, D.A. (1993). *Things that Make Us Smart. Defending Human Attributes in the Age of the Machine*. Reading, MA, Addison-Wesley.
- Peirce, C.S. (1931-35, 1958). *Collected Papers*. 1-6, ed. by C. Hartshorne and P. Weiss; 7-8, ed. by A. Burks.
- Piaget, J. (1974). *Adaption and Intelligence*. Chicago, University of Chicago Press.
- Polanyi, M. (1966). *The Tacit Dimension*. London, Routledge & Kegan Paul.
- Popper, K. (1959). *The Logic of Scientific Discovery*. London, Hutchinson (trad. it. *Logica della Scoperta Scientifica. Il Carattere Autocorrettivo della Scienza*, Torino, Einaudi, 1970).
- Thagard, P. (1992). *Conceptual Revolutions*. Princeton, NJ, Princeton University Press (trad. it. *Rivoluzioni concettuali: Le Teorie Scientifiche alla Prova dell'Intelligenza Artificiale*, Milano, Guerini, 1994).
- Zhang, J. (1997). The nature of external representations in problem-solving, *Cognitive Science*, 21(2), pp. 179-217.