

## Sulla descrizione dei sistemi intelligenti

Renzo Beltrame<sup>1</sup>

Quando facciamo riferimento all'attività cognitiva è del tutto accettabile affermare che la qualifica di comportamento intelligente scaturisce da un modo di considerare questo comportamento, e quindi la qualifica di comportamento intelligente, e di sistema intelligente, diventano frutto di una categorizzazione mentale.

La discussione a questo punto potrebbe anche apparire chiusa, perché si ha un sistema intelligente se lo si pensa come tale, e non si ha un sistema intelligente se non lo si pensa come tale. Affermazioni di questo tipo sono vere per qualsiasi attività mentale quando la si consideri a posteriori, cioè ad attività avvenuta. Ma limitandosi a questo approccio si viene a banalizzare il problema centrale di una dinamica dell'attività mentale: il costruire cioè una teoria che, ponendosi prima che un'attività mentale occorra, preveda quale attività mentale avrà luogo in determinate condizioni. Si ha cioè una situazione analoga a quella della biologia, dove la conoscenza della sequenza dei nucleotidi nel DNA di una cellula non basta per sapere quali proteine verranno sintetizzate, e come e quando questo avverrà.

Le nostre considerazioni relative alla descrizione dei sistemi intelligenti riguarderanno anzitutto le condizioni minime che vogliamo siano soddisfatte per categorizzare un comportamento o un sistema come intelligenti. È infatti abbastanza semplice mostrare come tra i due estremi di sistemi che non siamo disposti a considerare dotati di comportamento intelligente, e di sistemi che abitualmente consideriamo dotati di comportamento intelligente, vi siano sistemi il cui comportamento potrebbe essere considerato intelligente oppure no. Più avanti discuteremo alcuni aspetti che appaiono peculiari della descrizione di un sistema intelligente.

Due casi piuttosto semplici, tratti dalla fisica, mi sembra esemplificano con chiarezza il tipo di problemi che si incontrano nel decidere quali condizioni debbono essere soddisfatte per qualificare un sistema come intelligente. Essi ci permettono inoltre di sottolineare alcuni elementi importanti per la successiva discussione.

La meccanica classica newtoniana nella sua forma più semplice si occupa di oggetti fisici per i quali l'azione dell'ambiente è descritta completamente da una direzione e da uno scalare: una forza. Per essi, cioè, non intendiamo introdurre differenziazioni legate alla parte dell'oggetto su cui agisce la forza; e di conseguenza l'oggetto non è pensato costituito da parti. Inoltre gli oggetti sono caratterizzati da un solo scalare  $m$ , la massa. Il comportamento meccanico è descritto dalla ben nota relazione:

$$F = ma$$

che lega la forza agente alla massa e all'accelerazione. Lo scalare  $m$  deve essere una costante, altrimenti occorre scrivere una relazione diversa.

Un vettore  $a$  descrive il comportamento del sistema che consegue in un dato momento dall'azione della forza  $F$ . Il vettore  $a$  è interpretato come accelerazione, quindi concettualmente come cambia-

<sup>1</sup>Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto CNUCE - Via Santa Maria 36, 56126 - Pisa -

*e-mail:* renzo.beltrame@cnuce.cnr.it

© ISSN 1120-3854 Copyright 1996 *Methodologia*.

COPYRIGHT NOTICE - The copyright of this paper is by *Methodologia*, which has permitted it to reside on equipments of this Computer Service for access by WWW clients (<http://www.mi.cnr.it/Methodologia/>). Any other electronic reformatting is by permission from *Methodologia*. Any copying is restricted by the fair use provisions of Italian laws and of the U.S. Copyright Act. IN PARTICULAR, NO CHARGE MAY BE MADE FOR ANY COPY, ELECTRONIC OR PAPER, MADE OR DISTRIBUTED OF THIS MATERIAL WITHOUT PRIOR CONSENT OF *Methodologia*. NO COPY OF THIS MATERIAL MAY BE REPRODUCED WITHOUT THIS NOTICE.

mento di velocità, e matematicamente è espresso da:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Lo stato del sistema è individuato da un vettore, la velocità, che matematicamente è esprimibile come:

$$v(s) = \int_0^s \frac{F}{m} ds$$

ed ha la forma di un funzionale della storia; storia che è descritta dall'azione  $F(t)$  che l'oggetto ha subito dall'ambiente sino all'istante di tempo considerato.

Il calcolo del vettore  $v$  può venire spesso sostituito da un procedimento di misura; e la misura di  $v$  sostituisce in questi casi, ai fini della previsione del comportamento dell'oggetto, la conoscenza della storia delle azioni subite dall'oggetto stesso.

Chiaramente non siamo disposti a considerare intelligente un comportamento descritto in questi termini, nella misura in cui esso è pensato dipendere in maniera rigida dalle sole azioni esterne. Tuttavia, già in un caso così elementare, siamo in presenza di una situazione piuttosto sofisticata i cui elementi costitutivi sono, come vedremo, tutti irrinunciabili. Sottolineerei la presenza di un funzionale della storia dell'azione sul sistema fisico, la velocità, che ha anche il carattere di variabile di stato.

Quale secondo esempio consideriamo un oggetto la cui dinamica è descritta dalle medesime grandezze che abbiamo visto nel caso precedente, ma dove la massa non è più una costante, bensì uno scalare funzione del tempo.

La relazione che descrive il comportamento del sistema è ora:

$$F = \frac{d}{dt}(mv)$$

ed essa lega la forza  $F$  alla variazione della quantità di moto  $mv$ .

Sviluppando si ottiene:

$$F = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt}$$

cioè:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F}{m} + \frac{v}{m} \dot{m}$$

Il problema può venire risolto quando sia nota la storia dei valori della derivata di  $m$  rispetto al tempo. In tal caso è possibile calcolare la massa come funzionale della storia:

$$m(s) = \int_0^s \dot{m} dt$$

e poi risolvere rispetto a  $v$ .

Possiamo continuare ad interpretare la forza  $F$  come caratterizzante l'interazione dell'oggetto

con l'ambiente esterno, e possiamo continuare ad interpretare l'accelerazione  $a$  come la risposta del sistema all'azione dell'ambiente.

Nel caso di massa costante, il legame tra azione esterna e risposta del sistema era lineare, retto da una costante che formalmente poteva venire inglobata nell'unità di misura di una delle variabili, azione o risposta. In questo secondo caso, dove la massa può variare, la risposta dipende, oltre che dalla forza  $F$ , da due funzionali della storia,  $m$  e  $v$ , e dalla velocità con cui il primo di questi sta variando.

Quella esposta non è chiaramente l'unica maniera di interpretare il comportamento del sistema. Essa ci consente di mettere in luce che, a differenza di quanto accadeva nel caso di massa costante, vi sono ora due modi di influire sul comportamento del sistema: far agire una forza e far variare la massa. Questi due modi, poi, possono venir pensati fra loro indipendenti senza incorrere in alcuna contraddizione.

Il modo caratterizzato da  $F$ , può continuare ad essere messo a carico dell'ambiente; l'altro, legato alla variazione della massa, può venire pensato in maniere diverse. Se la variazione della massa risulta da azioni dell'ambiente, abbiamo ancora un sistema i cui mutamenti dipendono in modo rigido da sole azioni esterne. In tal caso infatti la variazione della massa può venir descritta come funzione di una ulteriore azione esterna  $Q$ : nel caso più semplice da una relazione lineare. Se le variazioni della massa sono invece legate a certe caratteristiche del sistema, ad esempio a sue caratteristiche architettoniche, abbiamo un sistema che può variare in dipendenza da azioni sia esterne che interne al sistema stesso.

Tuttavia siamo poco portati a considerare intelligente un sistema sulla base dei soli elementi esposti, anche se potremmo senza troppa difficoltà considerarlo dotato di un comportamento istintivo, innato.

Si può invece oscillare tra considerare intelligente il sistema oppure no se, in dipendenza dalla sua architettura, la variazione di massa fosse tale da mantenere il valore dell'accelerazione entro un certo intervallo; cioè quando si sia in presenza di un comportamento che possiamo considerare adattivo. Tuttavia un comportamento adattivo oggi può non bastare a farci considerare intelligente un sistema, perché abbiamo una grande diffusione di apparati di controllo che mantengono automaticamente entro limiti predeterminati il funzionamento e le prestazioni di sistemi di varia complessità.

Per poter sicuramente considerare intelligente il nostro sistema a massa variabile, dovremmo pensare che la variazione di massa è intenzionale, o addirittura volontaria: dovremmo cioè pensare il sistema capace di anticipare il suo comportamento o supportarlo addirittura capace di svolgere categorie mentali. In tal caso l'adattabilità diventa una conseguenza e ci si attendono altri comportamenti adattivi, a meno che lo vietino ulteriori caratteri costitutivi del sistema.

Nel caso in discussione, ad esempio, per quanto intelligente si pensi il sistema, questo può solo far variare la sua massa. Ci aspetteremmo di trovare almeno modi diversi di far variare la massa: se ne osservassimo uno solo, saremmo portati a rifiutare la categorizzazione di sistema intelligente, o questa avverrebbe sulla base di altri fattori spiegando poi come un'anomalia l'aver trovato un'unica manifestazione di comportamento adattivo.

Non è tuttavia detto che si debba continuare ad usare questa definizione di intelligenza, di chiara matrice antropomorfa. Definizioni meno stringenti potrebbero anche affermarsi in analogia a quanto è accaduto ad esempio con il volare, la cui definizione si è allargata sino a comprendere il volo ad ala fissa degli aeroplani, e quello ad ala rotante degli elicotteri. Artefatti che possono indurre a questo allargamento sono già presenti, ad esempio i robot adattivi progettati per operare nelle profondità marine o nello spazio: in ambienti, cioè, dove non è possibile prevedere in anticipo le situazioni che la macchina dovrà affrontare e le condizioni in cui si troverà ad operare.

La scelta delle condizioni che portano a categorizzare un comportamento come intelli-

gente presenta quindi un margine di libertà abbastanza ampio a fronte del quale epoche storiche diverse possono presentare differenze notevoli.

Su questo margine di libertà torneremo più avanti, qui vorrei sottolineare che la definizione di intelligenza di matrice antropomorfa mette in luce un altro ordine di problemi, dove i vincoli sono più stringenti.

Nella meccanica impieghiamo uno schema mentale nel quale la causa del movimento di un corpo è pensata diversa dal corpo stesso e ad esso esterna. In psicologia invece, per gli animali e più ancora per l'uomo, usiamo uno schema mentale dove questi possono essere pensati causa dei loro comportamenti: in particolare li possiamo pensare causa dell'attività che essi svolgono.

In meccanica l'assunzione secondo cui la causa del movimento di un corpo fisico è diversa dal corpo stesso ed è ad esso esterna, va considerata parte integrante della definizione di corpo fisico. Troviamo esplicitamente questa assunzione in una formulazione di Eulero<sup>1</sup>, ed il passaggio da una trattazione classica, ad una relativistica, o ad una quantistica non ha toccato questa assunzione.

Quando consideriamo l'animale e l'uomo come un sistema biologico e ci proponiamo di descriverne il funzionamento con gli schemi della fisica, introduciamo le assunzioni implicite per tali sistemi. Non è allora possibile fondare sui principi della psicologia la descrizione dell'animale e dell'uomo pensati come sistemi fisici, perché si introdurrebbe una causa non fisica per dei cambiamenti fisici, e la contraddizione porterebbe a posizioni di pensiero di tipo spiritualistico.

Ma non è neppure possibile fondare la psicologia sulla descrizione dell'animale e dell'uomo pensati come sistemi fisici, perché ci si contraddirebbe pretendendo di ottenere un soggetto autonomo da uno schema dove ci siamo impegnati a considerare l'attività di un corpo fisico provocata sempre da un altro corpo fisico.

Naturalmente è possibile attenuare la contrapposizione e al limite eliminarla, mutando uno dei due punti di vista. In psicologia, ad esempio, si potrebbe continuare a pensare la persona come un soggetto che si comporta in un certo modo, ma considerare il comportamento interamente dipendente dai fatti accaduti. Sparirebbe così la contrapposizione e lo schema usato nella fisica potrebbe diventare lo schema di base anche in psicologia senza che si incorra in alcuna contraddizione.

Occorrerebbe però riconsiderare parti abbastanza notevoli della nostra cultura: tipicamente quelle che si fondano sulla libertà del soggetto operante e che, come l'etica e il diritto penale, derivano da questa libertà un principio di responsabilità del soggetto<sup>2</sup>. È tuttavia possibile mantenere gli schemi mentali propri della fisica e della psicologia e costruire una teoria che, senza pretendere di fondare la descrizione in termini di psicologia di un sistema intelligente sulla sua descrizione fisica o viceversa, le comprenda entrambe.

L'unificazione può infatti basarsi su una corrispondenza tra elementi interni a teorie costruite sui due diversi approcci, e non sulla riduzione di una teoria all'altra. Per stabilire tale corrispondenza occorre:

- individuare i fatti sperimentali in modo che risultino compatibili con le assunzioni implicite in entrambi gli approcci;

<sup>1</sup>. Nella formulazione newtoniana: "Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directu, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare" l'idea che la causa del mutamento debba essere esterna al corpo non è detto sia espressa in modo inequivocabile. La troviamo invece affermata senza possibilità di dubbio in Eulero: "Corpus absolute quiescens perpetuo in quiete perseverare debet, nisi a causa externa ad motum sollicitetur" [L. Euler, *Mechanica sive motus scientia analytice exposita*, 1736, Ed. P. Stäckel. Leipzig, 1922, Vol. I, p. 27]

<sup>2</sup>. La tendenza a vedere il comportamento della persona fortemente condizionato da fattori esterni è emersa con forza in perizie psichiatriche connesse con recenti processi penali.

- costruire per questi fatti sperimentali comuni due diverse teorie che li spieghino rispettando le assunzioni implicite nei due differenti approcci;

- stabilire una corrispondenza tra gli elementi esplicativi intermedi delle due teorie;

Il lavoro di unificazione può richiedere una riarticolazione anche profonda delle teorie di partenza al fine di ottenere una corrispondenza soddisfacente.

Quando studiamo come sistema fisico un sistema a cui attribuiamo comportamenti intelligenti, i fatti sperimentali da cui dobbiamo partire per costruirne una teoria debbono essere fatti fisici e la medesima caratteristica debbono avere i fatti previsti dalla teoria.

Questa soluzione diventa allora obbligata anche sul versante delle teorie psicologiche quando si voglia porre in corrispondenza una spiegazione in termini di psicologia ed una in termini di fisica.

La scelta si rivela tuttavia assai poco vincolante. Anche nel caso in cui lo sperimentatore utilizzi il linguaggio per indurre un certo comportamento nel soggetto dell'esperimento e la risposta di quest'ultimo sia pure essa linguistica, il requisito imposto richiede soltanto che l'interpretazione dei suoni e delle grafie come parole di una lingua e il passaggio al loro significato siano considerati parte integrante della teoria con cui si interpretano i risultati dell'esperimento. Basta cioè che sia ascritto all'esperimento solo l'aspetto fisico dei fatti che nell'interpretazione si considerano linguistici. Analoghe considerazioni valgono per movimenti che si vogliono interpretare come gesti o espressioni del volto.

Questa scelta presenta il notevole vantaggio di soddisfare automaticamente l'impegno, proprio della prassi scientifica, che per i dati sperimentali non sia costitutiva la testimonianza di qualcuno<sup>1</sup>.

Per soddisfare con sicurezza questo vincolo faremo l'ulteriore ipotesi che i processi corrispondenti all'osservazione siano sempre provocati da processi che hanno luogo in sistemi fisici diversi ed esterni al sistema che funge da osservatore.

La corrispondenza qui richiamata lega tra loro occorrenze di processi fisici e occorrenze di fatti mentali. Questo richiede una localizzazione temporale dei due ordini di fatti, a cui va aggiunta la misura dell'intervallo di tempo che intercorre tra coppie di questi, poiché nella spiegazione possono intervenire sia l'ordine in cui si sono verificati i fatti, sia la loro distanza temporale.

Torna allora opportuno tenere distinti nell'approccio della psicologia, da un lato il contenuto di un fatto mentale, e dall'altro la localizzazione che ne caratterizza l'occorrenza entro uno schema di riferimento temporale, insieme ai rapporti che possono venir posti tra i fatti così localizzati. Le denominazioni di mentale e psichico, quando se ne voglia forzare una differenza di significato, ritengo riflettano questa distinzione<sup>2</sup>.

Il porre corrispondenze tra teorie che si appoggiano ad una descrizione fisica e teorie che utilizzano l'approccio della psicologia, dove sono in gioco fatti mentali, risulta notevolmente facilitato se i fatti mentali vengono descritti in termini di attività: attività che risultano quindi costitutive dei fatti stessi.

Quando si arriva agli atomi della descrizione in termini di attività costitutiva, che ovviamente non ammettono scomposizione in ulteriore attività costitutiva e quindi non ammettono descrizione negli stessi termini, si ricorre spesso alla corrispondenza biunivoca tra questi fatti mentali atomici e determinati processi fisici individuati all'interno di una teo-

<sup>1</sup>- Se fosse costitutiva la testimonianza del soggetto dell'esperimento, non potremmo confrontare tra loro i risultati ottenuti con la ripetizione dell'esperimento su soggetti diversi, poiché cambiando il soggetto l'esperimento diventa un altro. E avremmo lo stesso limite quando diventasse costitutiva la testimonianza dello sperimentatore.

<sup>2</sup>- A sua volta si possono chiamare in causa varie differenze tra il modo di pensare i processi fisici e i processi psichici, prima fra tutte la presenza di oggetti spazialmente localizzati in rapporto tra loro che pensiamo costitutiva di un processo fisico, ma non di uno psichico. L'aggiunta della qualificazione 'fisico' ad un sentimento, ad esempio 'amore fisico', ci porta infatti a pensare anche ad una relazione tra i corpi delle persone coinvolte, mentre questo non è affatto richiesto quando pensiamo all'amore tra due persone.

ria del comportamento che considera il soggetto dell'attività mentale come un sistema fisico.

Il cambiamento di punto di vista, che è tipico della circolarità del sapere, non autorizza tentazioni di tipo riduzionista neppure nella forma che scaturirebbe dal presentare la corrispondenza come una spiegazione degli atomi del mentale: non si sono infatti introdotte cause, ma corrispondenze.

Un approccio scientifico è incompatibile con l'affermazione di una totale libertà dell'individuo, nella misura in cui essa equivalga a presupporre l'impossibilità di formulare previsioni sul comportamento dell'individuo stesso e quindi a negare la possibilità di sottoporre ad esperimento qualunque affermazione e previsione relativa al suo comportamento. Entrambi gli approcci, psicologico e fisico, debbono quindi prevedere la stessa varietà di comportamenti e con le stesse probabilità.

Se manteniamo per i due approcci la differenza discussa in precedenza, faremo dipendere questa varietà dalla libertà che attribuiamo al soggetto dell'attività mentale in una teoria, e alla complessità del sistema nell'altra. Non è allora possibile pensare le cose fisiche soggetti di attività volontarie o comunque intenzionali, e si esclude così che il pensiero possa essere pensato causa di cambiamenti sulle cose fisiche direttamente, cioè senza intermediari<sup>1</sup>.

Per stabilire una correlazione tra le teorie psicologiche e quelle fisiche dei sistemi biologici che consideriamo dotati di intelligenza l'approccio più antico e stratificato impiega il rapporto funzione-organo; dove la corrispondenza è tra funzioni che stanno sul versante della psicologia, e organi con i relativi funzionamenti che stanno sul versante della fisiologia.

Nella scienza si preferisce però introdurre cause moventi, perché risulta più immediato sottoporre a verifica sperimentale le previsioni formulate nelle teorie. Anche negli esperimenti, dove occorre lasciare libera un'unica variabile e predisporre il resto, torna comodo predisporre l'occorrenza del processo che nella teoria è considerato causa e stare a vedere se si verifica quanto, sempre nella teoria, è considerato effetto.

Con spiegazioni di tipo teleologico le cose diventano subito intricate, perché la causa finale non ammette traduzione immediata nell'esperimento, dal momento che non è pensata occorrere tra i due momenti, iniziale e finale, del processo che differisce dal paradigma.

La definizione di un organo, poi, è utile nella misura in cui esso è specifico, legato cioè ad una sola funzione, ed ha una precisa localizzazione spaziale. Non si riesce a soddisfare questi requisiti ogniqualvolta ciò che si considera funzione può variare con continuità. Inoltre la corrispondenza uno a uno tra organo e funzione porterebbe ad escludere schemi mentali comunemente impiegati nella scienza e nella tecnica, schemi ai quali mi sembra ingiustificato rinunciare.

Un certo numero di funzioni che negli elaboratori elettronici sono considerate elementari a livello di microcodice sono ottenute dando diverse configurazioni di ingresso ad una medesima rete logica. Si ha quindi uno schema mentale diverso da quello che associa ad ogni funzione un organo spazialmente diverso.

Nei sistemi multiprocessore vi sono programmi che ripartiscono automaticamente tra i vari processori le operazioni che consentono di avere una determinata funzione, ad esempio la moltiplicazione di due matrici. Ad ogni ripetizione i processori possono essere diversi per numero e allocazione.

---

<sup>1</sup>- Quando si affrontano in chiave scientifica fenomeni di parapsicologia si lavora infatti con uno schema secondo cui la persona dotata di facoltà parapsicologiche svolgendo una certa attività mentale o psichica fa funzionare il proprio corpo, cioè, la propria base fisica, in modo tale che quest'ultima produca azioni fisiche che, ad esempio, muovono gli oggetti fisici circostanti.

Come si vede il rapporto organo-funzione risulta inadeguato anche quando si voglia vedere la funzione realizzata attraverso il funzionamento coordinato di varie parti, soprattutto se questo coordinamento non è pensato stereotipo, ma funzione di fattori sia interni che esterni al sistema. Si pensi, ad esempio, al coordinamento motorio attraverso cui un gatto cadendo da una certa altezza fa in modo di atterrare sulle zampe: i movimenti sono diversi a seconda della posizione iniziale del gatto.

Inoltre nella descrizione fisica di un sistema biologico che abbia il livello di complessità dei sistemi a cui siamo soliti attribuire senza riserve un comportamento intelligente, tipicamente l'uomo, l'interazione tra le parti del sistema deve possedere caratteri che portano ad una descrizione fisica abbastanza complicata del sistema stesso.

È cosa pacifica che un pezzetto di gatto ha un comportamento profondamente differente da quello di un gatto, mentre una porzione, anche ragionevolmente piccola di acqua, si comporta come acqua. Da questa differenza, fenomenologicamente abbastanza diffusa, tra organismi biologici e materiali dobbiamo attenderci conseguenze molto marcate sul modo di descrivere l'interazione tra le varie parti del sistema.

Nel caso di sistemi come l'acqua, o come un solido cristallino, si può supporre che l'interazione riguardi soltanto gli elementi vicini, supporre, cioè, che fornisce risultati accettabili un'interazione la quale diminuisca molto rapidamente all'aumentare della distanza tra gli elementi considerati.

Questo semplifica notevolmente la teoria e la trattazione matematica, perché, considerato un elemento del sistema, ci si può limitare ad introdurre nel calcolo solo l'interazione con i pochi elementi ad esso immediatamente prossimi, e pensare che questo si ripeta invariato per tutti gli elementi del sistema. Saranno poi le condizioni sul contorno, cioè nella zona di separazione tra sistema e ambiente, a determinare il diverso stato del sistema.

Quando, come nei sistemi biologici a cui attribuiamo comportamento intelligente, una parte del sistema presa isolatamente perde i comportamenti per cui ci interessa studiare il sistema, occorre introdurre interazioni anche tra parti del sistema tra loro lontane e, spesso, azioni esterne al cessare delle quali il sistema diventa per noi un altro, perché perde la possibilità di avere i comportamenti per i quali ci interessa studiarlo.

Risultano allora poco utili modelli in cui le proprietà globali e la dinamica risultino da statistiche dove gli eventi elementari siano pensati indipendenti e, al limite, equiprobabili. Allo stesso modo appaiono poco plausibili previsioni basate su combinatorie di eventi di questo tipo.

Ci si aspetta infatti che soltanto modelli nei quali si sono introdotte forti correlazioni tra gli eventi diano risultati accettabili. Ma ci si aspettano anche le relative difficoltà concettuali e matematiche perché modelli di questo tipo sono tipicamente non lineari.

Nei sistemi biologici a cui attribuiamo comportamento intelligente abbiamo poi sempre scambi di materia tra sistema ed ambiente, e processi attraverso cui parti del sistema vengono demolite e ricostruite. Per la ricostruzione, a sua volta, non è richiesta necessariamente una sostituzione identica, ma si richiede che vengano conservati solo determinati caratteri del preesistente.

Anche la separazione tra sistema e ambiente, pur non essendo necessitata, diventa in pratica inevitabile. Non è realistico pensare di avere in tempi brevi una teoria che, oltre a rendere ragione della complessità del comportamento di un sistema biologico intelligente, comprenda anche la previsione delle interazioni fra sistema biologico e ambiente; ad esempio quelle che origineranno percezioni.

In tal modo però il comportamento del sistema può essere previsto solo come comportamento condizionato dal verificarsi di determinate interazioni con l'ambiente e, dal momento che si hanno fenomeni di memoria, la descrizione matematica di un sistema

fisico con questi caratteri diventa assai complicata<sup>1</sup>

La discussione sin qui svolta ha lasciato in ombra un aspetto a cui si era accennato all'inizio.

In termini di possibilità l'attività mentale non è praticamente soggetta a vincoli. Svolta un'attività mentale si viene ad avere automaticamente il costruito che ha quell'attività come costitutiva. Neppure la contraddizione limita tale possibilità essendo anch'essa un particolare costruito mentale. Tuttavia un comportamento in cui l'attività mentale si svolgesse in modo sconnesso, priva di connessione e di regolarità, sarebbe considerato fortemente anomalo. Così come all'altro estremo un comportamento fortemente stereotipo sarebbe ascritto a insufficienza di attività mentale o comunque a una sua eccessiva polarizzazione.

La descrizione di sistemi capaci di un comportamento intelligente del livello di sofisticazione che consideriamo normale per un essere umano deve essere quindi ugualmente distante dai due estremi ora indicati.

Inoltre riteniamo del tutto corretto affermare che non si avrà il fuoco come percepito in assenza della relativa attività percettiva, e che si avrà quest'ultima a patto di avere qualcuno capace di svolgerla. Riteniamo poi altrettanto corretto affermare che il fuoco può bruciare e trasformare in cenere un pezzo di legno senza che si richieda l'attività mentale di qualcuno perché ciò accada. E pensiamo che tale trasformazione non possa venir impedita dalla sola occorrenza dell'attività mentale di qualcuno che pensi il contrario.

In termini di attività cognitiva possiamo spiegare questi fatti osservando che se il fuoco è stato pensato soggetto del bruciare, l'occorrenza del bruciare e delle trasformazioni dell'oggetto bruciato debbono venir ascritte al fuoco soltanto, pena la contraddizione.

Ugualmente se la trasformazione del legno in cenere è pensata prodotta dal bruciare del legno, essa non può venir ascritta ad altro, pena, al solito, la contraddizione.

Noi pensiamo cioè a processi che modificano oggetti ed hanno altri oggetti per soggetti: l'indipendenza dell'occorrenza di tali processi e dei loro risultati dall'occorrenza dell'attività mentale con cui li pensiamo consegue allora dal non volerli contraddire. E quest'ultimo impegno è essenziale nella misura in cui vogliamo avvalerci di inferenze e di deduzioni logiche.

Dobbiamo anche rendere conto della stabilità delle proprietà degli oggetti e della stabilità delle conseguenze che ci si attendono dalle loro interazioni. Sempre in termini di attività cognitiva, questa stabilità può essere fatta derivare, dall'assumere come paradigma che un oggetto sia pensato avere certi caratteri costitutivi, che sia pensato intervenire con determinati ruoli in certi processi, e che dall'occorrenza di un processo conseguano determinati altri fatti.

Nel paradigma si avrà allora il fuoco pensato soggetto di attività, come il bruciare, che coinvolgono altri oggetti sui quali producono determinati mutamenti, ad esempio fanno diventare cenere il legno.

L'impegno a non contraddirci e l'impegno ad usare come paradigmi certi fatti e certe concatenazioni tra questi sono sufficienti per ottenere una descrizione dove si abbia l'indipendenza degli oggetti fisici e delle loro interazioni dall'attività cognitiva, e dove si abbia anche la richiesta stabilità nel tempo delle loro proprietà fisiche e delle conseguenze di loro azioni mutue. Possiamo così evitare il dualismo derivante dalla necessità di introdurre due diversi principi, uno per il mondo delle cose fisiche e dei loro rapporti, e l'altro per il mondo della conoscenza.

Dall'aver assunto come paradigma determinati fatti e concatenazioni tra questi, sca-

---

<sup>1</sup>- Lo stato del sistema è infatti definito anche dalla storia passata del sistema e questa può richiedere un proprio spazio ad ogni stato per essere descritta matematicamente.

turiscono anche vincoli nello svolgimento dell'attività mentale. Affermare che esistono vincoli all'attività mentale equivale ad affermare che vi sono correlazioni tra le attività mentali possibili e quindi che non tutto ha la stessa probabilità di accadere. In questo modo si evita un comportamento frammentario e sconnesso. Se poi lo schema di vincoli è sufficientemente ricco ed articolato, si evita l'altro estremo: il comportamento eccessivamente stereotipo.

Un complesso di vincoli all'attività mentale ci offre anche elementi per costruire una teoria capace di fornire previsioni circa l'attività mentale che verrà svolta in determinate condizioni. Alcuni semplici esempi possono aiutare a mettere a fuoco la problematica sottesa.

Una differenza di colore localizzata nello spazio circostante e pensata individuare un oggetto fisico, induce ad aggiungere mentalmente nello stesso posto una differenza di tipo tattile. Fatta l'aggiunta, ci si aspetta di trovare la differenza: ci si rappresenta, ad esempio, la mano che raggiunge il posto in questione e il mutare della percezione tattile.

Viceversa, poiché non siamo indotti ad aggiungere una differenza di tipo tattile là dove non si ha differenza visiva, non ci aspettiamo affatto di trovarla. Il caso della porta a vetri costituita da un'unica lastra trasparente, contro cui facilmente si andrebbe a sbattere, è così noto e potenzialmente pericoloso che ci si premura di prendere provvedimenti per segnalarne tempestivamente l'esistenza.

Uno schermo televisivo è una superficie bidimensionale, ma per abitudine invalsa noi costruiamo come tridimensionali l'ambiente e gli oggetti che vengono presentati su di esso. L'obiettivo della telecamera, a parte effetti particolari, produce infatti un tracciato molto vicino a quello che otterremmo rappresentando gli oggetti e l'ambiente su un piano perpendicolare all'asse ottico dell'obiettivo secondo le regole della prospettiva lineare.

Dall'avvento della prospettiva rinascimentale ci siamo progressivamente abituati a costruire mentalmente come tridimensionali gli oggetti e l'ambiente rappresentati in prospettiva. La grande diffusione di immagini ottenute con sistemi ottici che danno una rappresentazione prospettica ha fortemente rafforzato questa abitudine. Tutto questo vale a maggior ragione per quanto ci viene presentato sullo schermo televisivo dove il movimento della telecamera nella ripresa e l'abitudine a considerare il punto di ripresa come il punto da cui osserviamo la scena, inducono effetti molto vicini agli effetti stereocinetici. Incontriamo così due tipici esempi di situazioni dove tra le varie attività mentali possibili una serie di abitudini invalse ci porta con altissima probabilità ad eseguirne alcune a preferenza di altre: nel caso in questione a strutturare come tridimensionali un ambiente e i suoi oggetti a partire da una rappresentazione prospettica.

I due esempi presentati offrono anche qualche indicazione sul modo di costituirsi di questo sistema di vincoli e di aspettative.

La localizzazione spaziale di una differenza di tipo visivo e l'aggiunta nello stesso posto di una differenza di tipo tattile è un'abitudine assai precoce nella storia di un individuo, essendo legata a quel coordinamento di attività visiva, motoria e tattile che ci consente di afferrare gli oggetti. Con l'ampliarsi dell'esperienza questa regola viene dialettizzata con l'introduzione di ulteriori elementi condizionanti. Ad esempio l'aggiunta di una differenza di tipo tattile non scatta se le differenze di colore riguardano qualcosa che abbiamo pensato una figura piana, come un'illustrazione su un libro.

Nel caso delle immagini presentate su uno schermo televisivo abbiamo un esempio ancora più articolato del carattere via via più complesso che i vincoli possono assumere. L'abitudine ad aggiungere differenze di tipo tattile nello stesso posto dove si sono localizzate differenze di tipo visivo continua a valere, ma si ha qui una netta distinzione tra oggetti raffigurati e oggetti, come il televisore, che sono pensati nell'ambiente fisico di cui fa parte il nostro corpo. Infatti quando due degli oggetti raffigurati vengono a collisione ci aspettiamo di veder raffigurate anche le conseguenze abituali per gli urti tra oggetti fisici, ma

non ci sogniamo affatto di fuggire di fronte ad un treno o ad un'auto che nella raffigurazione sullo schermo vengano verso di noi.

Un risultato del genere presuppone un livello di sofisticazione piuttosto elevato dell'attività mentale. Bisogna intanto essere arrivati a pensare gli oggetti come soggetti di azioni su altri oggetti, in modo che l'occorrenza sia delle azioni che delle loro conseguenze sia posta a carico degli oggetti agenti. Quando poi tra le conseguenze vi sia un'attività percettiva, ad esempio una percezione tattile e dolorifica, vengono evitate contraddizioni ponendo l'attività percettiva a carico di qualcuno che possa svolgere tale attività, e attribuendo il suo insorgere all'azione, l'urto ad esempio, di un oggetto sul corpo di chi percepisce.

È necessario inoltre essere arrivati ad estendere questo modo di pensare agli oggetti raffigurati, pensandoli come soggetti di azioni su altri oggetti raffigurati, pensando alcuni di questi, le persone raffigurate, anche come soggetti di attività mentale e rappresentandoci mentalmente la loro attività percettiva conseguente alle azioni mutue tra gli oggetti raffigurati.

E occorre infine pensare che il nostro corpo non fa parte del mondo degli oggetti raffigurati, per cui non potremo mai urtare una persona o un oggetto raffigurato sullo schermo, ma al più lo schermo stesso del televisore. Dalle azioni raffigurate ci aspettiamo cioè conseguenze molto diverse per noi e per le persone e le cose raffigurate<sup>1</sup>.

I semplici esempi discussi ci mostrano che i paradigmi sono in grandissima parte risultato di apprendimento. Essi si costituiscono parallelamente al formarsi del patrimonio di conoscenze e di abilità proprio del singolo individuo e sotto la spinta della necessità di comunicare con altri individui. Sono quindi storici sia con riferimento alla storia di un singolo individuo, sia con riferimento ad un ambiente culturale, nella misura in cui è intervenuta una azione di socializzazione.

Dall'aver assunto come paradigma determinati fatti e concatenazioni tra questi consegue poi che:

- quando incontriamo un comportamento che è in accordo col paradigma, esso diventa un comportamento normale;
- siamo disposti ad accettare comportamenti che si scostano dal paradigma introducendo elementi che li spieghino;
- il paradigma contiene certi fatti ed è organizzato in un certo modo sotto la spinta di vari fattori, tra cui necessità di ordine pratico: il paradigma è cioè frutto di una scelta e siamo disposti a mutarlo, ma solo sotto la spinta di forti motivazioni;
- dobbiamo infine pensare ad un paradigma assai articolato, molto simile alle attuali teorie scientifiche: aperto a cospicue aggiunte e riformulazioni.

Il comportamento linguistico riflette l'accordo con il paradigma attraverso l'uso di forme semplici, dove prevalgono la designazione o la predicazione diretta e il modo indicativo del verbo.

Il fatto che i contenuti del nostro paradigma si presentino ripetutamente uguali diventa a sua volta una forte spinta a categorizzarli come reali, considerandoli quindi come componenti di ciò che chiamiamo realtà.

Come abbiamo visto, entro il paradigma abbiamo oggetti che sono pensati soggetti di azioni su altri oggetti, in modo che l'occorrenza sia delle azioni che delle loro conseguenze sia posta a carico degli oggetti agenti e sia quindi indipendente dal pensante. La costruzione del paradigma richiede quindi l'osservazione; e questa non può venir espunta, pena la contraddizione.

---

<sup>1</sup> Incidentalmente possiamo osservare che si possono ottenere effetti illusivi anche molto marcati sincronizzando opportunamente stimolazioni visive, uditive, tattili e olfattive secondo gli schemi di aspettativa propri di chi riceve le stimolazioni. È quanto si fa con la cosiddetta realtà virtuale; dove parliamo appunto di "virtuale" per indicare le condizioni molto diverse da quelle assunte come paradigma per quella stimolazione.

Nel paradigma intervengono anche le conseguenze attese a seguito di azioni e processi che coinvolgono noi e gli oggetti del nostro ambiente, e tali conseguenze hanno spesso un peso notevole nel decidere le nostre azioni e i nostri comportamenti. Proprio per questa rilevanza nei confronti dell'agire pratico assumiamo come paradigma anche che si verifichino le conseguenze e le aspettative in questione. Quando certi contenuti risultino disattesi abbiamo al solito diverse alternative:

- possiamo introdurre un ulteriore elemento condizionante che spieghi la differenza dal paradigma e assumere lo schema così allargato quale nuovo paradigma;
- possiamo lasciar cadere la categorizzazione o, più in generale, l'attività mentale svolta, svolgendone una diversa dalla quale ci si attendono le conseguenze occorse; per esempio, se dopo aver categorizzato un oggetto più vicino a noi di un altro, il fatto viene disatteso da successive verifiche, si scambia la categorizzazione applicata agli oggetti in modo che le conseguenze siano in accordo con le verifiche fatte;
- infine possiamo rinunciare a caricare di aspettativa l'attività mentale che condizionava l'attesa insoddisfatta<sup>1</sup>, e ancora lo schema così modificato diventa il nuovo paradigma.

L'approccio scientifico non muta il carattere e l'impianto di questi problemi. Aggiunge il vincolo della ripetibilità alla prassi, al modo di procedere nello studio. Se, ad esempio, ripercorriamo l'attività mentale con cui costruiamo una teoria scientifica, ritroviamo molti dei caratteri precedentemente discussi.

Troviamo intanto che, essendo tale costruzione un fatto cognitivo, essa viene ad avere i caratteri di una costruzione mentale della quale eredita sia la libertà, sia l'apertura all'immaginario e all'invenzione. Si conviene però di spingere la costruzione di una teoria sino a formulare rapporti tra gli oggetti e mutue azioni tra questi che abbiano gli oggetti stessi quali agenti e pazienti. L'occorrenza di tali azioni è allora pensata indipendente dall'attività mentale di chi formula o usa la teoria, poiché altrimenti si incorrerebbe in una contraddizione.

Anche gli esperimenti scientifici sono costituiti da processi e da interazioni tra oggetti che sono pensati avere gli oggetti come agenti e pazienti; per cui, avviato l'esperimento, ciò che accade deve venir pensato indipendente dall'attività mentale dello sperimentatore.

La conoscenza dei risultati di un esperimento scientifico comporta chiaramente un'attività mentale e questa è pensata avere per soggetto l'osservatore. Il verificarsi di tale attività in un dato momento è invece pensato non dipendere esclusivamente dall'osservatore. In una descrizione in termini di fisica penseremmo ad un'interazione tra gli oggetti e i processi dell'esperimento e processi che avvengono nel corpo dell'osservatore, per cui il punto di partenza dell'attività mentale di quest'ultimo diventa una percezione.

Nell'attività scientifica, poi, è prassi consolidata vincolare l'uso delle categorie mentali che ricorrono nelle teorie e nella descrizione degli esperimenti all'osservanza di specifici procedimenti tecnici: procedimenti che dipendono cioè dalla particolare situazione considerata e variano con questa.

Ad esempio per rimisurare sistematicamente il dislivello tra gli stessi due punti del terreno si costruiscono manufatti stabili, i cosiddetti capisaldi di livellazione. È quindi vero che stesso e altro sono categorie mentali, e che pertanto la loro occorrenza dipende da chi categorizza; ma si conviene di usare la categoria di stesso a proposito dei punti tra cui si è misurato il dislivello solo quando si sono stabilmente annegati nel terreno opportuni manufatti e si sono riposizionati gli strumenti secondo determinate regole. Si conviene poi di ritenere scorretta la categorizzazione quando non si sono seguite le regole.

---

<sup>1</sup>- Può accadere al limite che un'attività diventi indifferente ai fini dell'attesa di qualcosa perdendo ogni valenza predittiva; in questo caso, se l'attività in questione è un'attività mentale, interviene l'abitudine a lasciar cadere l'attenzione quando si verifichi un'attività mentale che abbiamo appreso a non caricare di alcuna attesa.

A volte non si riescono ad individuare procedimenti tecnici a cui vincolare la categorizzazione, ad esempio per affermare che le particelle contenute in un dato volume sono le stesse che erano contenute in precedenza in quello stesso volume. Si costruiscono allora teorie che contengono come dato soltanto il numero di particelle che occupano un dato volume in momenti diversi. Poi diventa una scelta di tecnologia matematica impiegare nella teoria direttamente la statuizione fatta o trasformazioni matematiche ad essa equivalenti. Ad esempio si sviluppa la trattazione supponendo le particelle distinguibili e si impone poi come condizione che il risultato o non muti per scambio di due particelle, oppure che muti secondo determinate regole.

Nei casi, come la matematica, dove sono in gioco relazioni tra fatti mentali e la dimostrazione prende il posto dell'esperimento, vengono codificati pezzi di ragionamento e si introducono simboli con le relative regole di combinazione, attraverso esplicite definizioni. La dimostrazione è allora traducibile in una serie di riscritture che, partendo dalle ipotesi specifiche e da formule precedentemente dimostrate all'interno dello stesso schema di definizioni, portano alla formula che costituisce la tesi.

L'osservanza dei vincoli che regolano l'uso delle categorie mentali che intervengono nelle teorie e nella descrizione degli esperimenti scientifici semplifica l'inferire l'occorrenza dell'attività mentale corrispondente alla categoria in questione. L'attività mentale ha infatti carattere privato e quindi non abbiamo modo di osservarne direttamente l'occorrenza, ma dobbiamo inferirla da una corrispondenza posta con il verificarsi di determinati processi fisici.

Si comprende allora perché la messa a punto di procedure a cui vincolare l'uso dei costrutti mentali polarizzi fortemente l'interesse degli studiosi. In tal modo si contribuisce in modo determinante a garantire che sia soddisfatto il requisito della ripetibilità caratteristico della prassi scientifica.

A sua volta, nel discorso scientifico, quando si designano categorie mentali ci si riferisce spesso implicitamente anche ai procedimenti tecnici che ne regolano l'applicazione nel contesto corrente. Scarsa consapevolezza di questo fatto è spesso causa di pessimi discorsi filosofici.

Come si vede i vincoli all'attività mentale con cui si teorizza e si fanno osservazioni ed esperimenti scientifici discendono da impegni assunti da chi svolge l'attività mentale. Questi vincoli a loro volta permettono di agganciare le teorie scientifiche all'attività pratica, e questo aspetto è così dominante da mascherare ai non addetti ai lavori i caratteri di libertà, di arbitrarietà e di storicità che una teoria eredita dall'essere una costruzione mentale.

Nel costruire una teoria scientifica relativa ad un certo ambito del sapere si assume di solito l'impegno che essa spieghi tutti i fatti sperimentali noti. Quando sotto la spinta di nuovi fatti sperimentali si sostituisce la vecchia teoria con una nuova, si considera pienamente soddisfatto l'impegno assunto solo quando si è arrivati ad una teoria che spieghi quanto era spiegato dalla vecchia e in più renda ragione dei nuovi fatti. Questo non è richiesto in altri settori dell'attività umana, ad esempio nella tecnica, ed è fonte di significative differenze.

A conclusione di questa breve nota vorrei richiamare quelli che mi sembrano i punti salienti emersi dalla discussione.

Un comportamento o un'attività assumono la qualificazione di intelligenti a seguito di una categorizzazione mentale. Il problema diventa allora stabilire a quali condizioni siamo disposti a categorizzare come intelligente un'attività o un comportamento; e va da sé che tali condizioni possono variare nel tempo.

Quando ciò a cui abbiamo attribuito comportamento intelligente può essere visto anche come un sistema fisico, ed è il caso degli esseri umani, possiamo descriverne il comporta-

mento utilizzando sia gli schemi della psicologia sia quelli della fisica. Le due descrizioni risultano però irriducibili l'una all'altra nella misura in cui l'approccio psicologico ammette che il soggetto possa essere causa delle attività e dei comportamenti considerati elementari, mentre l'approccio della fisica considera che ogni mutamento elementare sia causato da qualcosa di diverso da ciò che muta. Se si mantengono questi presupposti, ci si può proporre soltanto una corrispondenza tra i due tipi di spiegazione, psicologica e fisica, degli stessi fatti, e questi debbono venir individuati in modo compatibile con entrambi gli approcci.

Per i comportamenti intelligenti a cui associamo attività mentale, consideriamo normale uno svolgersi di questa secondo schemi di coerenza che limitano l'estrema varietà delle manifestazioni in linea di principio possibili. Questi vincoli possono venir ricondotti all'assunzione di paradigmi concernenti: l'attività costitutiva associata alle singole cose, i rapporti che ci si attendono tra queste, e le conseguenze che ci si attendono dall'occorrenza di determinati fatti.

Quando i paradigmi riguardano rapporti tra oggetti in cui pensiamo gli oggetti come attori, la loro occorrenza risulta indipendente dalla nostra attività mentale e quindi nella costruzione del paradigma queste parti sono vincolate all'osservazione di quanto accade.