

Dalla tradizione pitagorica al futuro della cultura e della scienza in Calabria

Simposio Internazionale di Studio
(Tropea-Palmi, 12-14 giugno 1997)

a cura di Pietro De Leo



Rubbettino

INDICE

Pietro De Leo , <i>Presentazione</i>	p. 5
Gaetano Vallone , <i>Saluti del Sindaco di Tropea</i>	7
Vincenzo Cappelletti , <i>Introduzione</i>	9
1 Vincenzo Cappelletti, <i>Pescatori di teoremi e promotori di cultura</i>	14 → 8120
2 Roshi Rashed, <i>Les échanges en Méditerranée: l'exemple de l'optique</i>	17 → 8121
3 Saverio Avveduto, <i>La tradizione pitagorica</i>	23 → 8122
4 Sandro Petruccioli, <i>Un permanente tema pitagorico: la matematizzazione del mondo</i>	25 → 8123
5 Gabriele Giannantoni, <i>Aristotele e i Pitagorici</i>	31 → 8124
6 Enrico Berti, <i>L'origine pitagorica dell'analisi geometrica</i>	49 → 8125
7 Luigi Pepe, <i>Il Pitagorismo e la matematica</i>	55 → 8126
8 Marco Somalvico, <i>Dai numeri ai simboli e dai simboli ai numeri</i>	63 → 8127
9 Vittorio Emanuele Esposito, <i>Nel labirinto delle complessità: le coordinate pitagoriche</i>	95 → 8128
10 Saverio Ricci, <i>Filosofia e vita della città: il pitagorismo di Nicola Antonio Stigliola</i>	99 → 8129
11 Vittorio Mathieu, <i>Pitagorismo</i>	115 → 8130
12 Giuseppe Lo Cane, <i>Il senso di una tradizione metodologico-scientifica: Pasquale Galluppi, filosofo della matematica</i>	127 → 8131
13 Simonetta Valtieri, <i>Euclide e Pitagora: proporzioni armoniche e rapporti musicali</i>	139 → 8132
14 Giuseppe Frega, <i>Il ruolo delle Università Regionali</i>	149 → 8133
15 Giuseppe Borgia, <i>La Calabria: per un ponte culturale e scientifico tra Europa e Paesi del Mediterraneo</i>	151 → 8134
16 Giuseppe Caglioti, <i>Il numero e il bello nel trasferimento della conoscenza</i>	153 → 8135
17 Dan V. Segre, <i>Convergenza e conflittualità mediterranea</i>	165 → 8136
18 Mario Giancotti, <i>L'agorà Telematica: «Nuova» Scuola Italiana della Sapienza</i>	171 → 8137
19 Vincenzo Cappelletti, <i>Intervento conclusivo</i>	175 → 8138
Stefano De Leo , <i>Intervento</i>	179
Don Lorenzo , <i>Intervento</i>	183

scontrano nel moto dei pianeti con la teoria delle sfere omocentriche che fu accettata anche da Aristotele¹⁰.

Permettetemi di terminare con una citazione dall'Ode di Orazio dedicata ad Archita (I 28):

«Tu il mare, la terra, gli innumerevoli granelli di sabbia misuravi, Archita, e ora solo l'obolo di un pugno di polvere ti copre sul lido marino, né può giovarti, destinato com'eri alla morte, l'aver scrutato lo spazio e indagato l'arco del cielo».

In questi bei versi troviamo rappresentati insieme la brevità della vita e la continuità dell'interesse verso la scuola Pitagorica, cinque secoli dopo Pitagora.

¹⁰ E. RUFINI, *Gli studi geometrici di Eudosso di Cnido*, Archivio di storia della scienza vol. II (1921-1922), pp. 222-239.

Marco Somalvico

Dai numeri ai simboli e dai simboli ai numeri

*Progetto di intelligenza artificiale e robotica
Dipartimento di elettronica e informazione
Politecnico di Milano*

1. Introduzione

La conoscenza della realtà ci presenta, in modo intrecciato e cooperante, il ruolo dei modelli intesi come conoscenza dei fenomeni.

I modelli dei fenomeni, che costituiscono, insieme alle leggi derivate dai modelli, la manifestazione scientifica della conoscenza umana della realtà, sono peraltro:

1. espressioni esatte, cioè perfette, nella loro rappresentazione del fenomeno che si manifesta all'osservazione dell'uomo;
2. raffigurazioni parziali, cioè imperfette, degli elementi ontologicamente costitutivi del fenomeno che l'uomo contempla;
3. momenti innovabili, cioè perfettibili, della cultura scientifica umana che avvicenda a vecchie modellizzazioni più imperfette di uno stesso fenomeno nuove modellizzazioni meno imperfette di tale fenomeno.

Nell'incessante prospettazione dei vari modelli con i quali, secondo l'insegnamento di Talete, di Newton e di Galileo, la storia dell'inventiva umana ha saputo, prima contemplare e poi conoscere i fenomeni, l'uomo ha plasticamente plasmato le varie forme ricavate dalla creativa manipolazione dei più svariati formalismi di cui si è dotato, ed ha, in tal modo, svelato parzialmente il fenomeno mediante lo strumento conoscitivo del modello.

I numeri ed i simboli sono, nella loro varia natura, sinergicamente intrecciati nel fornire formalismi, talvolta alternativi, talvolta integrati, ma sempre complementari, che si prestano alla scultorea teleologia dell'uomo che, inventando il modello, di un fenomeno, gli assegna il compito, analo-

gico ed emulativo, di rappresentare con la forma inventata il fenomeno contemplato, nell'ambito di uno strumento, il modello, nella cui natura e nella cui funzione si intrecciano i tre aspetti del «per fare» sopra richiamati, cioè il perfetto, l'imperfetto ed il perfezionabile.

Il presente articolo si propone di prospettare, talvolta con una trattazione generale, talvolta con un'esemplificazione particolare, tale sinergia.

Esso tratta quindi:

1. sia il «viaggio» dai numeri ai simboli, inteso come percorso di tipo ascendente per quanto attiene al livello di astrazione con il quale la forma del modello rappresenta la realtà del fenomeno;

2. sia il «viaggio» dai simboli ai numeri, inteso come percorso di tipo discendente rispetto al predetto livello di astrazione.

L'articolo imposta l'illustrazione di questi due viaggi sulla base di una trattazione della *scienza dell'informazione*, sia di taglio antropologico, sia di taglio epistemologico.

La prima parte della trattazione, quella che è relativa al viaggio dai numeri ai simboli, è incardinata intorno ad un primo tipo di modello, il *segnale*, così come concepito e studiato nelle due discipline scientifiche dell'intelligenza artificiale e della robotica.

Questo primo tipo di modello è rilevante nel presentare la sinergia che parte dalla rappresentazione numerica e che perviene alla rappresentazione simbolica del reale.

Il segnale è un tipo di modello che è rivolto alla conoscenza scientifica di una prima fondamentale classe di fenomeni della realtà, cioè quelli appartenenti alla fenomenologia esterna all'uomo, ovvero i fenomeni fisici.

Il segnale coinvolge, nel suo importantissimo ruolo occupato all'interno della moderna scienza dell'informazione, tanto i componenti artificiali, che percepiscono i segnali, cioè i sensori, quanto le macchine artificiali, cioè i robot, che ospitano, come componenti della propria architettura interna, i sensori.

La trattazione in intelligenza artificiale e in robotica del segnale rappresenta un esempio molto chiaro del viaggio dai numeri ai simboli.

Infatti i robot utilizzano i propri sensori per percepire i segnali.

I segnali rappresentano, secondo modelli scelti dall'uomo, i fenomeni del mondo esterno al robot.

I segnali sono costituiti da numeri che rappresentano i parametri dei modelli dei fenomeni che i sensori percepiscono.

Più precisamente, un sensore, che percepisce un determinato fenomeno, misura i valori numerici dei parametri che caratterizzano il modello, scelto dall'uomo, del fenomeno percepito dal sensore.

Lo schema del modello del fenomeno è definito dall'architettura interna del sensore, mentre i parametri che completano lo schema del modello, facendoli diventare il modello di un fenomeno particolarizzato nel tempo e nello spazio, sono misurati dal sensore, e la variazione nel tempo e nello spazio del valore di ciascuno dei parametri dei modelli viene denominata segnale.

Dopo la percezione del segnale, tramite i propri sensori, il robot procede alla successiva attività di trasformazione segnale simbolo, mediante la quale alla rappresentazione numerica si sostituisce la rappresentazione simbolica del modello del fenomeno.

La nuova rappresentazione simbolica permette al robot di utilizzare le tecniche della logica matematica.

Il robot infatti è in grado di operare su espressioni simboliche iniziali (denominate formule ben formate iniziali o assiomi) per costruire artificialmente una catena deduttiva, attivando un processo algoritmico, denominato algoritmo inferenziale, che porta a formulare una nuova espressione simbolica finale (denominata formula ben formata finale o teorema) che risulta l'ultima di una sequenza finita di inferenze elementari, espresse tramite dei semplici meccanismi denominati regole di inferenza.

Ad esempio, il passaggio dalle due affermazioni «Socrate è un uomo» e «tutti gli uomini sono mortali», all'affermazione «Socrate è mortale» è un esempio di applicazione di quella notissima regola di inferenza che in logica è denominata «modus ponens».

Pertanto si dice, brevemente che il robot è sede di un'attività di «ragionamento artificiale» di natura deduttiva mediante la quale è in grado di autopianificare una serie di azioni che permettono al robot, partendo da una situazione iniziale (rappresentata dagli assiomi), di pervenire ad una situazione finale (rappresentata dal teorema).

È questo, dunque, il primo tipo di viaggio, quello dai numeri ai simboli, che è alla base della possibilità di un robot di percepire un fenomeno del mondo onde utilizzare tale percezione per attivare un'attività di autopianificazione delle proprie attività.

La seconda parte della trattazione, quella che è relativa al viaggio dai simboli ai numeri, è incardinata intorno ad un secondo tipo di modello, il *problema*, anch'esso così come concepito e studiato nelle due discipline scientifiche dell'intelligenza artificiale e della matematica.

Questo secondo tipo di modello è rilevante nel presentare la sinergia che parte dalla rappresentazione simbolica e che perviene alla rappresentazione numerica del reale.

Il problema è un tipo di modello che è rivolto alla conoscenza scientifica di una seconda fondamentale classe di fenomeni della realtà, cioè quelli appartenenti alla fenomenologia interna all'uomo, ovvero i fenomeni intellettivi.

Il problema coinvolge, nel suo importantissimo ruolo occupato all'interno della moderna scienza dell'informazione, tanto i componenti artificiali che svolgono il processo di elaborazione, cioè le unità centrali, quanto le macchine artificiali, cioè gli elaboratori e i robot, che ospitano, come componenti della propria architettura interna, le unità centrali.

L'attività di elaborazione della risoluzione di problemi, comporta l'adozione di particolari metodi di impiego dei simboli, che si basano sui paradigmi di rappresentazione della conoscenza, cioè su particolari metodologie mediante le quali si costruiscono quei particolari modelli simbolici che sono denominati rappresentazioni dei problemi.

Una volta che ad un problema sia stata associata una corrispondente rappresentazione simbolica, l'elaboratore ed il robot sono in grado di attivare, mediante l'esecuzione di algoritmi di ragionamento e di apprendimento, quel composito ed articolato processo artificiale che è denominato risoluzione automatica dei problemi.

Il risultato offerto dai sistemi di risoluzione automatica dei problemi consiste nella costruzione dell'algoritmo risolvete del problema sottoposto all'attività risolutoria esercitata dal sistema di risoluzione del problema.

In questo modo, l'elaboratore ed il robot, PRIMA costruiscono l'algoritmo risolvete il problema e DOPO eseguono l'algoritmo risolvete in modo da ottenere la soluzione del problema.

La risoluzione del problema, cioè la costruzione dell'algoritmo risolvete il problema, svolta inizialmente, è dunque un'attività di elaborazione che si svolge all'interno del mondo dei simboli, poiché comporta, come detto, l'elaborazione di quel modello simbolico che è la rappresentazione del problema.

L'esecuzione dell'algoritmo risolvete il problema, svolta successivamente, è invece un'attività di elaborazione che comporta la determinazione di risultati numerici, se la natura della soluzione del problema viene espressa, come accade per una vastissima classe di problemi, mediante l'impiego dei numeri.

È questo, dunque, il secondo tipo di viaggio, quello dai simboli ai numeri, che è alla base della possibilità di un elaboratore di rappresentare simbolicamente un problema, di costruirne il suo algoritmo risolvete e, dopo avere eseguito tale algoritmo, di fornire la soluzione, di natura numerica, del problema stesso.

2. La scienza dell'Informazione

Vediamo di inquadrare, innanzitutto, il termine SCIENZA DELL'INFORMAZIONE in modo semplice ma esatto.

Come è noto una disciplina è una struttura ed armoniosa presentazione di un COMPLESSO DI VERITÀ presentate, descritte ed illustrate con il FINE di aiutare l'uomo al DISCERNERE, cioè all'apprendere, al comprendere, al padroneggiare tali verità.

La scienza dell'informazione si occupa della concezione, progettazione, realizzazione ed applicazione di particolari MACCHINE, dette MACCHINE DELL'INFORMAZIONE.

Si ricorda che una MACCHINA è intesa come un ARTEFATTO, in altre parole un'ENTITÀ FATTA DALL'UOMO AD ARTE, CHE REIFICA (ovvero descrive mediante un'entità materiale, una cosa («res» in latino) UN MODELLO DI UN FENOMENO DELLA NATURA.

È utile ricordare che il REALE è concepito come dato dall'unione del NATURALE (che comprende l'UOMO ed il MONDO esterno all'uomo) con l'ARTIFICIALE (che comprende l'insieme degli artefatti, in altre parole delle entità che l'uomo ha realizzato, utilizzando dei componenti, sia presenti nel naturale, sia già presenti nell'artificiale, per comporli in un composi-

to, l'artefatto, secondo un'architettura concepita ispirandosi ad un disegno artistico).

L'uomo, quando conosce un FENOMENO del naturale, può proporre la propria conoscenza di tale fenomeno, oltre che con varie modalità individuali, come, ad esempio, mediante una poesia, anche con un approccio, basato sul cosiddetto metodo empirico sperimentale galileiano.

Tale metodo porta a formulare la conoscenza del fenomeno (si osservi che tale conoscenza è causata nell'uomo dalla percezione del fenomeno che accade nel naturale, ma essendone l'effetto, non deve essere, né confusa, né identificata con la causa e, pertanto, il fenomeno è una prima entità che è diversa, anche se correlata, con la conoscenza del fenomeno, che è una seconda entità) secondo una modalità denominata MODELLO, che, secondo l'insegnamento galileiano, è basata sulle proprietà di:

FINITEZZA: la quantità di conoscenza descritta dal modello è finita, a differenza della poesia che può attivare illimitate personali interpretazioni nel lettore;

OGGETTIVITÀ: il significato che si dà alla descrizione della conoscenza espressa nel modello è unico, non esistendo ambiguità o polivalenza nell'interpretazione del linguaggio con il quale il modello viene formulato, il che non avviene nel caso di una conoscenza descritta in una poesia od anche in un brano di prosa basato su un'individuale adozione del linguaggio descrittivo;

REPLICABILITÀ: l'effetto che si ha della conoscenza acquisita, apprendendo il modello, permette di effettuare una replica della sperimentazione del fenomeno che porta alle stesse conclusioni (da parte dell'UOMO SECONDO REPLICANTE, colui che ha appreso il modello) che erano state formulate, la prima volta (da parte dell'UOMO PRIMO proponente, colui che, conoscendo sperimentalmente il fenomeno, ne ha formulato il modello).

Dunque ogni macchina reifica un modello di un fenomeno del naturale, nel senso che una macchina è un caso particolare di artefatto, che contiene, nella propria architettura, la descrizione di un modello di un fenomeno della natura.

Si pensi ad esempio ad un MOTORE che, con la sua architettura di artefatto, reifica il fenomeno della FORZA, ad esempio esercitata dal vento su una palla di paglia che viene fatta incessantemente rotolare su un cam-

po: ebbene la MECCANICA è la disciplina che si occupa della concezione, progettazione, realizzazione ed applicazione, tra le altre, di quelle particolari macchine che sono i motori.

Si pensi, oppure, ad un REFRIGERATORE (FRIGORIFERO) che, con la sua architettura di artefatto, REIFICA il fenomeno del FREDDO, ad esempio esercitato dall'aria gelida che sui pendii delle montagne alte solidifica i laghetti tramutandoli, almeno in uno spesso strato superficiale dell'acqua, in una spessa crosta di GHIACCIO: ebbene la TERMOTECNICA è la disciplina che si occupa della concezione, progettazione, realizzazione ed applicazione, tra le altre, di quelle particolari macchine che sono i refrigeratori.

L'ingegneria dell'informazione, peraltro, a differenza della meccanica, si occupa di macchine dell'informazione, cioè di quelle macchine che sono intese come OPERATORI artificiali che svolgono delle OPERAZIONI su un OPERANDO denominato INFORMAZIONE.

Così come un motore è quell'operatore artificiale che opera producendo la forza, che è l'operando, così come un refrigeratore è quell'operatore artificiale che opera producendo il freddo, che è l'operando, la macchina dell'informazione è quell'operatore artificiale che svolge una determinata operazione accettando IN INGRESSO come operando L'INFORMAZIONE DA MODIFICARE sulla quale la macchina dell'informazione effettua, al proprio interno, un'operazione, per poi fornire IN USCITA come operando l'INFORMAZIONE MODIFICATA, sulla quale tale operazione è stata effettuata.

Cosa è, allora, questo operando, denominato informazione, che è suscettibile di essere sottoposto a delle operazioni effettuate su di esso da quell'operatore che è chiamato macchina dell'informazione?

L'informazione è il termine tecnico che viene dato ad UNA CATEGORIA PARTICOLARE DI MODELLI che hanno la caratteristica di essere operandi di macchine, cioè sottoponibili a quelle operazioni che possono essere effettuate su di essi da quegli operatori artificiali che sono quel particolare tipo di macchine che vengono chiamate macchine dell'informazione.

Si faccia dunque attenzione che, mentre come detto prima, ogni macchina, intesa come operatore, è la reificazione di un modello, solamente le macchine dell'informazione, oltre che essere dei modelli reificati, in quanto operatori, accettano degli operandi che sono anch'essi dei modelli.

In questa fase sta tutta la potenzialità dell'ingegneria dell'informazione, intesa come disciplina generale, dell'informatica e delle telecomunicazio-

ni, intese come discipline particolari, e della telematica, intesa come disciplina ancora più specifica: tali discipline devono essere considerate come degli strumenti molto efficaci posti al servizio dell'uomo.

Le macchine dell'informazione sono dunque le reificazioni di modelli di quei particolari fenomeni del naturale che riguardano l'operare su modelli.

Dove si osservano in natura i fenomeni che riguardano l'effettuazione di operazioni su modelli.

Ma nell'uomo, naturalmente!

Infatti, in base alla definizione di modello è l'uomo il soggetto che è capace di concepire, di ideare e di inventare, quel tipo di conoscenza del naturale, caratterizzato dal metodo empirico sperimentale galileiano, che chiamiamo modello.

L'uomo dunque è il soggetto che inventa i modelli, ed è anche il soggetto che inventa le macchine, che sono modelli descritti tramite l'architettura della macchina artefatto.

E quali sono allora le attività, svolte dall'uomo, sui modelli, inventati dall'uomo stesso?

Si noti che tali attività, intese come fenomeni della natura, sono osservate dall'uomo nel momento in cui l'uomo osserva in se stesso tali fenomeni.

Si noti, inoltre, che la conoscenza, formulata dall'uomo, di tali attività ovvero di tali fenomeni dell'uomo, può dunque consistere nella formulazione di modelli che, oltre che rappresentare la conoscenza galileiana di tali attività, possono portare, attraverso la loro reificazione in macchine dell'informazione, alla concezione di artefatti capaci di effettuare tali attività sotto forma di operazioni.

Queste attività che l'uomo esplica sui modelli inventati sono le attività della TRASFORMAZIONE, dell'ELABORAZIONE (con l'INTERAZIONE), della REGOLAZIONE e della COMUNICAZIONE.

La scienza dell'informazione è basata sull'impiego di macchine dell'informazione che sono la reificazione del modello del fenomeno della natura che l'uomo osserva in se stesso, conoscendolo come modello, quando si autopercepisce nell'atto di trasformare, elaborare, regolare e comunicare i modelli che egli ha precedentemente inventato.

Le quattro branche della scienza dell'informazione, che riguardano le quattro categorie di operazioni svolte sui modelli indicate, cioè la trasformazione, l'elaborazione, la regolazione e la comunicazione, sono, rispettivamente, l'ELETTRONICA, l'INFORMATICA (con la ROBOTICA), l'AUTOMATICA, le TELECOMUNICAZIONI (sineddoche che adombra il termine, peraltro non utilizzato, COMUNICATICA).

3. Informatica e Robotica

L'INFORMATICA si inquadra dicendo che è quella disciplina moderna, appartenente alla scienza dell'informazione, che riguarda le attività svolte da quella macchina dell'informazione, denominata ELABORATORE, che è dedicata a svolgere sull'informazione l'attività funzionale di ELABORAZIONE (si noti che l'informazione – è un tipo di modello – è l'operando, mentre l'elaboratore – un tipo di macchina – è l'operatore).

La ROBOTICA si inquadra dicendo che è quella disciplina moderna (normalmente intesa come associata all'INFORMATICA), appartenente alla scienza dell'informazione, che riguarda le attività svolte da quella macchina dell'informazione, denominata Robot (termine che adombra il termine, peraltro non utilizzato, Interelaboratore), che è dedicata a svolgere sull'informazione l'attività svolta da quella macchina dell'informazione, denominata ROBOT (termine che adombra il termine, peraltro non utilizzato, INTERELABORATORE), che è dedicata a svolgere sull'informazione l'attività funzionale di ELABORAZIONE e INTERAZIONE (cioè di INTERELABORAZIONE (si noti che l'informazione – è un tipo di modello – è l'operando, mentre il robot – un tipo di macchina – è l'operatore).

Si ricorda che il termine robot è proposto in una commedia del XX secolo dello scrittore boemo Karel Capek, dal titolo, «R.U.R. Rossum Universalnie Robot», essendo il termine ceco, robot, derivato dal termine ceco, rabota, (lavoro), a sua volta derivato dal termine ceco, raba (schiavo).

Le due macchine elaboratore e robot, integrate con le due macchine delle telecomunicazioni, TELEFONO e TELEVISORE, si integrano a vicenda nella disciplina ibrida TELEMATICA, e sono al servizio dell'uomo nell'agevolarlo nelle attività, sia di elaborazione, che è svolta dall'elaboratore, sia di interelaborazione, che è svolta dal robot (interelaboratore), sia di comunicazione, quest'ultima, a sua volta, distinta in «comunicatio in praesentia», cioè quando gli enti comunicatori sono vicini tra di loro, e in «comunicatio in absentia», cioè quando gli enti comunicatori sono lontani tra di loro, che è svolta dal telefono e dal televisore.

Non c'è dubbio che tali attività sono estremamente utili perché potenziano, promuovendola, la capacità inventiva dell'uomo.

Ed inventare nuove modalità di espressione delle verità è uno strumento di intensificazione dell'efficacia con la quale l'uomo irradia nella società il suo personale contributo alla storia della cultura umana.

Occorre, a questo punto, procedere in modo sintetico e semplice, anche se serio ed approfondito, ad un breve richiamo circa la natura delle attività che le macchine della telematica svolgono al servizio dell'uomo, esaminando, in particolare, sia le attività di elaborazione, svolte dall'elaboratore, sia le attività di interazione ed elaborazione (o di interelaborazione), svolte dal robot o interelaboratore.

Tali attività si accompagnano, ovviamente, alle attività di comunicazione, specialmente a distanza o telecomunicazione, svolte dal telefono, dalla radio e dal televisore.

Si ricorda ancora, innanzitutto, che per informazione (categoria di modello di un fenomeno del naturale), si intende l'operando sul quale l'operatore, che nel caso dell'informatica è l'elaboratore ed il robot o interelaboratore, svolge, rispettivamente, l'operazione di elaborazione e di interelaborazione.

Di regola, quando si considera l'operazione di elaborazione, l'informazione viene distinta in tre tipi (corrispondenti dunque a tre sottoclassi di modelli), al fine di distinguere utilmente tre corrispondenti diversi tipi di elaborazione dell'informazione.

I tre tipi di informazione sono:

Il PROGRAMMA, spesso aggregato strutturalmente in un SISTEMA DI PROGRAMMI;

il DATO, spesso aggregato strutturalmente in una BASE DI DATI;

Il PROBLEMA (si noti che quando, in informatica, si utilizza il termine tecnico informazione, per indicare solamente il modello di un problema, allora si utilizza anche il più specifico termine tecnico CONOSCENZA), spesso aggregato strutturalmente in un SISTEMA DI PROBLEMI, chiamato anche BASE DI CONOSCENZA.

I tre corrispondenti tipi di elaborazione dell'informazione sono:

L'ESECUZIONE DEI PROGRAMMI (si parla in tal caso di ELABORATORE ESECUTORIO e di INFORMATICA ESECUTORIA);

la GESTIONE (termine composito che include la scrittura, la memorizzazione, la modifica e la lettura) dei DATI (si parla in tal caso di ELABORATORE GESTIONALE e di INFORMATICA GESTIONALE);

la RISOLUZIONE dei PROBLEMI (si parla in tal caso di ELABORATORE RISOLUTORIO e di INFORMATICA RISOLUTORIA); una dizione, equivalente a risoluzione dei problemi, è quella di INFERENZA sulla CONOSCENZA (si parla in tal caso di ELABORATORE INFERENZIALE e di INFORMATICA INFERENZIALE).

Esaminiamo ora la natura dell'interelaborazione (cioè dell'aggiunta, all'elaborazione dell'informazione, dell'interazione con la realtà fenomenologica) che è l'operazione effettuata dal robot o interelaboratore.

L'attività di interazione può essere di due tipi:

PRODUZIONE DI FENOMENI conformi con un loro opportuno modello (l'informazione) predeterminato nell'architettura del robot o interelaboratore, che esplica tale operazione tramite il SISTEMA degli ATTUATORI, cioè delle interfacce di USCITA dal robot verso la realtà fenomenologica;

PERCEZIONE di FENOMENI descritti da un loro opportuno modello (l'informazione) predeterminato nell'architettura del robot o interelaboratore, che esplica tale operazione tramite il SISTEMA dei SENSORI, cioè delle interfacce di ENTRATA nel robot dalla realtà fenomenologica.

Il robot o interelaboratore può dunque essere contrapposto all'elaboratore, per la sua distintiva capacità di interagire con la realtà fenomenologica, tramite il sistema degli attuatori, atto a produrre fenomeni, determinati in base ad un loro modello (interfaccia di uscita dal robot nella realtà fenomenologica) e tramite il sistema dei sensori, atto a percepire fenomeni, definiti in base ad un loro modello (interfaccia di entrata nel robot dalla realtà fenomenologica).

Pertanto è anche opportuno classificare il robot o interelaboratore, nelle tre seguenti distinte categorie:

ROBOT NERO, perché privo di percezione, così come i ciechi sono privi di percezione visiva, privo di sistema dei sensori e provvisto di sistema degli attuatori (si ha, quindi, interazione monodirezionale in uscita);

ROBOT BLU, perché svolge le attività di produzione svolte tipicamente, nel settore secondario dell'economia di uno stato, dall'operaio in tuta blu, provvisto di sistema dei sensori e provvisto di sistema degli attuatori (si ha, quindi, interazione bidirezionale in entrata ed in uscita);

ROBOT BIANCO, perché svolge le attività di servizio svolte tipicamente, nel settore terziario dell'economia di uno stato, dall'impiegato in colletto bianco, provvisto di sistema dei sensori e sprovvisto di sistema degli attuatori (si ha, quindi, interazione monodirezionale in entrata).

Si osservi ora che:

tanto l'elaboratore (macchina che esegue sistemi di programmi, che gestisce basi di dati e che risolve sistemi di problemi o inferisce su basi di conoscenza),

quanto il robot o interelaboratore (che esegue sistemi di programmi, che gestisce basi di dati, che risolve sistemi di problemi o inferisce su basi di conoscenza e che, inoltre, percepisce fenomeni secondo modelli prefissati, e che produce fenomeni, secondo modelli prefissati),

si presentano alla nostra considerazione come delle macchine, degli artefatti, che l'uomo, inventore dei modelli dei fenomeni dell'elaborare e dell'interelaborare (reificati perciò nelle architetture di tali macchine è quindi l'inventore di tali macchine ed è perciò il SOGGETTO, potremmo dire meglio che è il "Dominus") che:

FA LA MACCHINA,

FA FARE ALLA MACCHINA

Non solo si può con la telematica prospettare tutti i servizi tipici dell'elaborare e dell'interelaborare, ma tali attività possono essere svolte TELUTILIZZANDO elaboratori e robot, non necessariamente presenti accanto all'uomo che li utilizza, ma collegati mediante una RETE di elaboratori e di robot, ad un elaboratore, anche modesto, che l'uomo ha a disposizione accanto a se, purché tale semplice elaboratore dell'utente sia collegato nella rete con gli altri elaboratori e robot.

4. *Mutazione Antropologica e ingegneria dell'Informazione*

Occorre sapere cogliere, da parte di ogni uomo, la novità della dimensione antropologica che viene indotta dal fatto che l'uomo può servirsi del-

le macchine della telematica, dell'informatica e della robotica, per aumentare la propria efficacia cognitiva e comunicativa.

L'uomo, infatti:

non solo deve utilizzare la telematica come STRUMENTO di intensificazione dell'efficace irradiazione del pensiero e dell'azione umana, nei confronti dell'intera società,

ma sa anche adattarsi alla MUTAZIONE ANTROPOLOGICA, sia dell'uomo, sia, quindi, della complessiva società umana.

Ciò richiede, sempre a livello STRUMENTALE, un'attenta riconfigurazione, nella forma di prospettazione, dei contenuti del pensiero e dell'azione umana che rimangono peraltro immutati dal punto di vista STRATEGICO E TELEOLOGICO.

Vediamo, pertanto, di presentare, sinteticamente, il quadro di riferimento di questa mutazione antropologica, che incardineremo intorno alla nozione di bipolo informatico e robotico.

La società di uomini e di macchine della telematica, integrati gli uni con le altre, in una fruttuosa sinergia, tanto più efficace, quanto più spinte sono le tecniche interattive tra UOMO e MACCHINA, è sempre più destinata a presentare anche nuove modalità nell'interazione uomo-uomo.

Infatti ogni uomo, inteso come individuo, si baserà sempre più, nel suo operare intellettualmente ed interattivamente, sull'impiego della macchina alla quale egli delegherà alcune attività operative secondo lo schema gnoseologico, proposto, tra gli altri, dal noto filosofo gnoseologo francese Henry Bergson, che suddivide le ATTIVITÀ INTELLETTIVE ed INTERATTIVE in due categorie: quelle CREATIVE (esplicate dalla INTELLIGENZA CREATIVA od INVENTIVA), che l'uomo adotta quando inventa un nuovo modello interpretativo del reale, e quelle FABBRICATIVE (esplicate dalla Intelligenza FABBRICATIVA od INFERENZA) che l'uomo impiega nel valutare le conseguenze inducibili e deducibili all'interno di un modello da lui inventato.

Si può infatti argomentare, con solide considerazioni epistemologiche e gnoseologiche, che, si può adottare (con approccio popperiano) il termine INTELLIGENZA A per individuare l'attività intellettuale che l'UOMO UNITARIO (che denomineremo, nel seguito, UOMO-INTELLETTO, esplica, DIRETTAMENTE ED IMMEDIATAMENTE, in un primo polo, denominato UOMO-CORPO), ed il termine INTELLIGENZA B per individuare l'at-

tività intellettuale che l'uomo unitario (l'uomo intelletto) può esplicare, se lo desidera, *INDIRETTAMENTE* e *MEDIATAMENTE*, in un secondo polo, denominato UOMO-MACCHINA.

Quindi l'uomo si presenterà sotto l'aspetto di un *BIPOLO INFORMATICO*, associato all'uomo unitario cioè all'uomo - intelletto, che si articola in due poli, un primo costituito dal polo-uomo-corpo, ed un secondo costituito dal polo-uomo-macchina.

Si faccia attenzione che qui la dizione, quasi provocatoria, uomo - macchina, dizione che individua la macchina, cioè l'elaboratore e il robot, si propone di accentuare volutamente il fatto che la macchina non opera autonomamente, ma opera all'interno dei modelli progettuali che l'uomo, progettista della macchina (l'uomo che fa la macchina), ha inventato ed ha determinato.

La macchina dunque opera secondo le funzionalità che l'uomo, artefice dell'attività effettuata dalla macchina (l'uomo che fa fare alla macchina) ha intenzionalmente causato.

Si richiama cioè l'attenzione sulla profonda implicazione della frase: l'uomo fa la macchina e fa fare alla macchina.

Si noti come in tale bipolo informatico, l'uomo e la macchina (l'elaboratore e il robot) si ripartiscono tra di loro l'attività dell'*INTELLIGENZA CREATIVA*, esclusivamente svolta nel polo uomo - corpo, e l'attività dell'*INTELLIGENZA FABBRICATIVA*, svolta in modo distribuito in entrambi i due poli, ma con tendenza ad uno spostamento sempre più massiccio dal polo uomo - corpo al polo uomo-macchina.

5. Tipologie della Interazione Uomo-Uomo

Si noti come in una società bipolare esisteranno due tipi di interazione uomo-uomo.

Da un lato si avrà l'*INTERAZIONE INTRABIPOLARE*, cioè l'interazione, all'interno di ogni singolo individuo unitario bipolare, tra il polo uomo - corpo ed il polo uomo - macchina.

Si faccia attenzione, dunque, come le moderne metodologie dell'interazione uomo - macchina, multimediali ed ipertestuali, si incastonano perfettamente nell'incrementare la flessibilità, la scorrevolezza, la variabilità, la complessità e la potenzialità dell'interazione intrabipolare.

Da un altro lato si avrà l'*INTERAZIONE INTERBIPOLARE*, cioè l'interazione tra ogni singolo individuo unitario bipolare ed ogni altro singolo individuo unitario bipolare.

La strutturazione bipolare delle unitarie attività intellettive ed interattive del singolo individuo unitario bipolare, in una società di bipoli informatici e robotici, rappresenta un'opportunità sempre più crescente che l'uomo ha.

Egli infatti potrà concentrarsi (all'interno del proprio polo uomo - corpo) sulle più nobili attività intellettive ed interattive di tipo inventivo e creativo, mentre sempre più l'uomo, liberandosene *DIRETTAMENTE*, farà fare alla macchina (quindi le farà sempre l'uomo, ma *INDIRETTAMENTE*) le meno nobili (proprio perché attività non esclusive del solo polo uomo - corpo, perché delegabili al polo uomo - macchina, cioè meccanizzabili) attività intellettive ed interattive di tipo fabbricativo ed inferenziale.

Concentrarsi sempre più sull'inventiva e sulla creatività è dunque una liberazione dell'uomo verso le alte attività del conoscere se stessi ed il mondo, del riproporsi i problemi più complessi e più fondamentali, del muovere verso una duplice unitarietà culturale.

Secondo una *PRIMA UNITARIETÀ CULTURALE* vengono infatti a convergere, il vero (teoria) ed il buono (prassi), poiché ci si muove verso una forte sinergia tra l'attività filosofica e l'attività tecnica nell'uomo inteso come bipolo informatico e robotico.

Infatti la concezione migliore di modelli, frutto di una più elevata capacità filosofica dell'uomo che conosce la natura, si ripercuote anche in una più elevata capacità tecnica dell'uomo, che inventando modelli migliori, li può utilizzare per fornire informazione migliore (si ricorda che l'informazione individua i modelli proposti come operandi delle macchine dell'informazione) alle macchine della telematica, rendendo quindi più efficace l'attività tecnica svolta nel fare tali macchine e nel far fare a tali macchine.

Simmetricamente una maggiore efficacia tecnica nel concepire ed utilizzare le macchine della telematica porta ad una maggiore liberazione dell'attività inventiva e creativa nell'uomo che così viene ad essere più efficacemente proiettato nell'attività filosofica.

Secondo una *SECONDA UNITARIETÀ CULTURALE* vengono inoltre a convergere, il vero (teoria) ed il buono (prassi), da un lato, con il bello (estetica), da un altro lato, poiché si può osservare che i modelli più efficaci, che promuovono contemporaneamente, per quanto detto in precedenti

za, tanto il migliore vero, quanto il migliore buono, sono quelli, che si presentano dotati di un maggiore GRADO DI UNIVERSALITÀ, grado che è posseduto, seguendo l'insegnamento di De Sanctis, quando i modelli raggiungono ad un livello elevato il bello (arte), dispiegando ciò che è artistico, cioè ciò che possiede, al massimo livello, una valenza di universalità nel proporsi all'attenzione ed all'apprezzamento di tutti gli uomini.

Quindi la mutazione antropologica proposta dalla concezione dell'uomo unitario bipolare prospetta una forte convergenza tra l'umanesimo (filosofia ed arte) e la scienza (con tecnica e tecnologia) in quanto:

il migliore progetto ed il migliore impegno scientifico dell'uomo, centrato sulla macchina (polo uomo - macchina), ispirati a criteri scientifici, esaltano le capacità scientifiche dell'uomo (polo uomo-corpo);

il migliore impegno umanistico dell'uomo (polo uomo - corpo) esalta l'ottimalità della sua sinergia con la cooperante attività della macchina (polo uomo - macchina) e, di fatto, promuove, in modo mediato ed indiretto, una serie di compiti che, anche se apparentemente e morfologicamente appaiono come scientifici, in realtà ed in modo più approfondito sono essenzialmente umanistici.

È questo il quadro di riferimento che ci permette di affermare che l'uomo, inteso come bipolo informatico e robotico, è già ora e diventerà sempre più in futuro, un'argilla più unitaria e più duttile agli effetti di una vita intesa ad affermare i valori della spiritualità che si connaturano con un animo creativo e che sono protesi alla scoperta delle risposte più profonde alle domande fondamentali, circa la natura del proprio essere e del proprio fine, domande che l'uomo sarà sempre più spinto a domandarsi per trovare nel segreto della propria coscienza le giuste risposte.

6. I Segnali

I sensori, sottosistemi artificiali dei robot, sono dedicati alla costruzione del modello del fenomeno che essi percepiscono.

Si noti che l'architettura del sensore, che è l'espressione del progetto, fatto dall'uomo, del sensore stesso, determina, secondo il disegno umano lo schema del modello che l'uomo ha adottato per il fenomeno percepito.

Invece il sensore ha lo scopo di misurare i parametri incastonati in tale schema di modello che danno completamento alla costruzione del modello e che comportano l'effettuazione dell'operazione percettiva che il sensore compie nei confronti del fenomeno.

Normalmente i parametri misurati dal sensore sono delle variabili e dipendenti, variabili p , che dipendono, sotto forma di funzioni, da elementi variabili ed indipendenti, che rappresentano le categorie Kantiane della sensibilità, cioè lo spazio, variabile s e il tempo, variabile t .

Pertanto viene definito come segnale, la funzione $p = Si(s, t)$, che lega lo spazio ed il tempo al parametro, costituente numerico del modello del fenomeno.

Scegliendo un esempio, tra i tantissimi inerenti i sensori dei robot, ci si può soffermare sull'esempio dei sensori di visione.

I sensori di visione robotica forniscono segnali inerenti immagini del reale e tali segnali, in quanto funzioni dello spazio, presentano una dipendenza spaziale di solito bidimensionale, anche se, talvolta, tale dipendenza spaziale è tridimensionale e, a volte ancora, monodimensionale, mentre, in quanto funzioni del tempo, presentano, ovviamente, una dipensione monodimensionale (il tempo, che cresce sempre – in matematica si dice, che è monotono –, è una variabile unica).

Inoltre, scendendo ancora, per esemplificare, ad un ulteriore e più dettagliata esemplificazione, si può esaminare, l'applicazione dei sensori di visione alla rilevazione di segnali ottici, che esprimono, in funzione dello spazio, i difetti rilevati da un sistema di ispezione visiva dedicato alla rilevazione di difetti su superfici piane, in generale, ed all'effettuazione dell'analisi di qualità fatta su pannelli di legno truciolare nobilitato o impiallacciato, in particolare.

Il sensore deve osservare i pannelli che passano, sotto il proprio campo di osservazione, deve, quindi, individuare i difetti di lavorazione presenti sui pannelli e deve, infine, sulla base di tali difetti riscontrati, inferire l'esistenza di guasti o di problemi relativi ai dispositivi di produzione e di lavorazione dei pannelli di legno presenti nel sistema automatizzato di produzione dei pannelli stessi.

7. Il Trasformatore Segnale Simbolo

Il trasformatore segnale simbolo rappresenta un noto dispositivo della robotica, ed in particolare dei sensori dei robot, che presenta un esempio scientifico e tecnologico del "viaggio" che parte dai numeri ed arriva ai simboli.

Infatti si tratta di una sostituzione di un segnale, percepito da un sensore, cioè di un numero, con un simbolo che rappresenta, in modo più astratto, diversi numeri ai quali si attribuisce lo stesso simbolo.

Che un segnale sia rappresentato da un numero, variabile nel tempo e nello spazio è già stato illustrato in precedenza.

Infatti, ad esempio, un segnale rappresenta, facendo riferimento al sensore di visione che ispeziona un pannello di legno difettoso, una funzione numerica dipendente dal tempo e dallo spazio.

Cioè la funzione attribuisce dei numeri, intesi come valori della funzione, che dipendono (sono funzione di) da altri numeri, intesi come argomenti della funzione.

In matematica, gli argomenti si chiamano anche variabili indipendenti della funzione e i valori si chiamano anche variabili dipendenti della funzione.

Facendo riferimento all'esempio del sensore di visione, il segnale da esso rilevato permette di attribuire dei numeri (per esempio l'intensità della luce percepita in un quadratino del pannello di legno che viene ispezionato (in robotica questa intensità di luce viene denominata livello di grigio, poiché il numero può variare, ad esempio tra 0, per indicare un quadratino bianchissimo, e 255, per indicare un quadratino nerissimo) in funzione dello spazio (le coordinate che individuano il quadratino del pannello) e del tempo (l'istante in cui si valuta il numero rappresentativo dell'intensità della luce relativa al quadratino del pannello considerato).

Il trasformatore segnale simbolo permette di sostituire i numeri (i valori della funzione) vicini, cioè ai numeri appartenenti ad un intervallo di numeri esprimenti l'intensità della luce, con un simbolo.

Ad esempio, si sostituiscono i numeri appartenenti all'intervallo dei valori compresi tra 0 e 63 (cioè con intensità di luce molto vicina al bianco assoluto, anche se leggermente annerita, in modo da avere un grigio chiarissimo) con il simbolo CHIARO, ed analogamente si sostituiscono i numeri appartenenti all'intervallo dei valori compresi tra 192 e 255 con il simbolo SCURO.

Il progetto del trasformatore segnale – simbolo consiste nella realizzazione di un algoritmo, che opera sulla base di dati in cui viene contenuto il segnale, funzione delle coordinate bidimensionali del pannello, che è stato rilevato dal sistema di visione e funzione del tempo in cui il segnale è stato rilevato.

L'insieme dei simboli che si adottano in sostituzione degli intervalli di valori del segnale viene chiamato in algebra insieme quoziente derivato dall'insieme dei valori del segnale.

Più precisamente si procede nel modo seguente:

1. dai valori numerici (insieme dei valori campionati) si passa alle fasce od intervalli di valori;
2. quindi si procede alla classificazione delle fasce con un «giudizio» cioè con una astrazione, a cui si associa un simbolo qualitativo.

Per trasformare i dati dal segnale ai simboli si ottiene pertanto l'insieme quoziente di un insieme dato.

Si ricorda che l'insieme quoziente IQ di un insieme I è costituito, dato un insieme I, dal nuovo insieme IQ costituito, come elementi, dai simboli adottati per individuare i sottoinsiemi di I che costituiscono le celle di una partizione di I.

8. I Problemi

Il contributo fondamentale che l'intelligenza artificiale ha fornito, all'interno dell'informatica, è stato quello di porre l'accento su una nozione fondamentale: il problema.

Accanto alla nozione di algoritmo, centrale in tutta l'informatica, l'intelligenza artificiale ha posto l'attenzione sulla nozione di problema del quale sono state studiate ed evidenziate le varie modalità per la sua modellizzazione.

L'importante e critica attività di modellizzazione di un problema prende il nome, in intelligenza artificiale, di *rappresentazione del problema* o *rappresentazione della conoscenza*.

Sotto questo punto di vista, particolare rilevanza ha acquistato, come già detto in precedenza, il tema specifico della *risoluzione automatica dei problemi*.

Con questo termine si intende l'obiettivo di dotare l'elaboratore di metodi generali e di programmi efficienti che gli permettono di costruire, secondo processi completamente automatici od interattivi l'algoritmo risolvente un problema e, quindi, di ottenerne, dopo l'esecuzione di tale algoritmo costruito, la soluzione.

Si noti come tale moderna filosofia di utilizzo dell'elaboratore, richiede che l'uomo sia in grado di fornire alla macchina un *algoritmo capace di costruire un algoritmo*.

In intelligenza artificiale tali algoritmi, che sono in effetti dei *metaalgoritmi*, vengono chiamati *algoritmi inferenziali*.

L'impiego di tali algoritmi inferenziali consiste di fornire loro, come dato di ingresso, la rappresentazione del problema che si chiede alla macchina di risolvere automaticamente.

Si noti, inoltre, che in talune situazioni, ad esempio nel caso dell'applicazione della risoluzione automatica di problemi al gioco automatico (come nel caso in cui la macchina gioca a scacchi), la macchina:

1. *esegue l'algoritmo inferenziale* (nel caso del gioco degli scacchi è l'algoritmo che esplora, costruendolo, fino ad una certa profondità, il cosiddetto albero del gioco, cioè l'articolata espressione gerarchica delle sequenze di tutte le convenienti mosse, contromosse, controcontromosse, ecc.);

2. *costruisce l'algoritmo risolvete il problema* (nel caso del gioco degli scacchi è il cammino nell'albero del gioco che partendo dalla radice dell'albero, caratterizzante la posizione attuale sulla scacchiera, raggiunge la foglia dell'albero del gioco che caratterizza la posizione di scacco matto oppure la posizione che viene valutata come la più vantaggiosa tra le posizioni corrispondenti a tutte le foglie dell'albero del gioco);

3. *esegue l'algoritmo risolvete il problema ed ottiene la soluzione del problema* (nel caso del gioco degli scacchi viene fatta la mossa corrispondente al primo elemento del cammino nell'albero del gioco che è stato adottato).

In queste situazioni, dunque, la macchina, dopo aver costruito l'algoritmo risolvete (il cammino nell'albero, nel caso degli scacchi), lo utilizza eseguendolo (effettuazione della prima mossa, nel caso degli scacchi).

Si noti, però che in altre situazioni, ad esempio nel caso dei sistemi esperti di diagnosi delle malattie nell'uomo (come nel caso del sistema esperto MYCIN dedicato alla diagnosi delle malattie del sangue nell'uomo) la macchina:

1. *esegue l'algoritmo inferenziale* (nel caso del sistema esperto MYCIN è l'algoritmo che esplora, costruendolo, fino ad una certa profondità, il cosiddetto albero delle concatenazioni fatte di coppie causa - effetto che arrivano alla diagnosi di una malattia, ed alle correlate prognosi e terapie, partendo e considerando i sintomi che si possono rilevare, sia con opportune serie di domande rivolte al paziente, sia con l'effettuazione di opportuni esami diagnostici, sia svolti in modo diretto sul paziente, sia svolti in modo indiretto tramite esami di laboratorio);

2. *costruisce l'algoritmo risolvete il problema* (nel caso del sistema esperto MYCIN è il cammino nell'albero delle concatenazioni causa - effetto che partendo dalla radice dell'albero, caratterizzante i sintomi iniziali, effettivamente rilevati, si articola, in modo consequenziale secondo i sintomi effettivamente rilevati mediante le successive domande ed i successivi esami, fino a raggiungere l'identificazione diagnostica della malattia).

A questo punto l'uomo e non più la macchina, come accadeva nella precedente situazione del gioco automatico:

1. *esegue l'algoritmo risolvete il problema ed ottiene la soluzione del problema* (nel caso del sistema esperto MYCIN, viene formulata dal medico la prima domanda o viene effettuato il primo esame diretto o di laboratorio che è indicato dall'albero delle concatenazioni, e la risposta alla domanda o l'esito dell'esame viene inserito nella macchina che procede alla conseguente continuazione nella costruzione del cammino, coerentemente alle risposte ed agli esiti che sono stati ottenuti dal medico).

In queste situazioni, dunque, la macchina ha costruito l'algoritmo risolvete (il cammino nell'albero, nel caso di MYCIN), mentre l'uomo (il medico) lo utilizza eseguendolo (effettuazione della prima domanda ed esame, nel caso di MYCIN).

Ci si trova di fronte perciò, in questa seconda situazione rappresentata dai sistemi esperti, di un completo rovesciamento dei ruoli svolti dall'uomo e dalla macchina, rispetto alla tradizionale situazione, tipica dell'informatica classica, che vede l'uomo inventare l'algoritmo risolvete il problema e, successivamente, programmare la macchina che deve eseguire tale algoritmo fornito dall'uomo.

Infatti in questa nuova situazione è la macchina che costruisce l'algoritmo risolvete il problema, mentre è l'uomo che è invitato ad eseguirlo (è l'utente del sistema esperto (il medico, nel caso di MYCIN che segue le proposte avanzate dalla macchina).

Perciò si è visto che, con la risoluzione dei problemi, si concepisce la macchina come dotata della capacità, non solo di essere abile e veloce nell'esecuzione di algoritmi forniti dall'uomo, ma anche di costruire autonomamente, in modo quindi del tutto automatico, gli algoritmi necessari per risolvere problemi, osservando inoltre che tali algoritmi costruiti possono essere eseguiti, o ancora dalla macchina stessa, in alcune situazioni, o, invece, dall'uomo che si appoggia alla macchina.

L'uomo, dunque, si limita semplicemente a definire il problema da risolvere lasciando all'elaboratore il compito di costruire l'algoritmo che permette di risolverlo e di determinarne la soluzione, mentre, infine, a seconda dei casi, macchina o uomo sono impegnati nell'esecuzione dell'algoritmo costruito dalla macchina.

La differenza tra le due posizioni, eseguire algoritmi e risolvere problemi, può essere colta pienamente con un semplice esempio: il calcolo dell'area di un esagono regolare.

Un conto è istruire un elaboratore, tramite un apposito programma, a calcolare l'area dell'esagono, nota la lunghezza del lato «L» e la nota formula:

$$(3\sqrt{3}L^2)2$$

Un altro conto è insegnare all'elaboratore la geometria piana e metterlo in grado di ricavarsi l'algoritmo per il calcolo dell'area di un poligono regolare.

Il primo approccio è un banale caso di calcolo e di programmazione, il secondo, un tipico compito di intelligenza artificiale.

9. La risoluzione Automatica di Problemi

È importante, a questo punto, esaminare la nozione di risoluzione, sia umana, sia interattiva, automatica di problemi in quanto, come si chiarirà in seguito, l'attività di un sistema esperto consiste appunto nella sua capacità di formulare, in modo automatico, la risoluzione di un problema.

Per analizzare gli aspetti concettuali e funzionali della risoluzione (anche se interattiva od automatica) di un problema è molto utile partire da un parallelo con il mondo della fisica.

In fisica esiste una differenza tra l'occorrenza di un «fenomeno», percepito dall'uomo, e la formalizzazione di un «modello», che interpreta in modo esatto taluni parametri fisici che definiscono il fenomeno.

Analogamente, in intelligenza artificiale esiste una differenza tra un «problema intuitivo», cioè un'esigenza, avvertita dall'uomo, di un problema da soddisfare, cioè da risolvere, e la formalizzazione di tale problema, che in intelligenza artificiale viene denominata «problema rappresentato» (ovvero «rappresentazione del problema»).

Inoltre, il fisico utilizza il modello di un fenomeno al fine di derivarne, mediante un'attività inferenziale, sia deduttiva, sia induttiva, una «legge»

che permetta di caratterizzare proprietà del fenomeno e che permetta di prevedere anche nuovi fenomeni.

Analogamente, il risolutore automatico di problemi è in grado di operare un'elaborazione sul problema rappresentato che permette di costruire il «problema risolto», espresso, sia «dall'algoritmo risolvete» il problema rappresentato, sia dall'«esecuzione» dell'algoritmo risolvete, che produce la «soluzione» del problema (in questo caso si fa riferimento, pertanto, alla soluzione algoritmica del problema).

Quindi ai tre concetti, nella fisica, di *fenomeno*, di *modello* e di *legge*, corrispondono, nell'intelligenza artificiale, i tre concetti di *problema intuitivo*, di *problema rappresentato* e di *problema risolto*.

È interessante a questo proposito analizzare con attenzione il ruolo dell'uomo e della macchina algoritmica nel complesso processo della risoluzione di un problema.

Mentre nel caso della fisica le attività sono compiute solamente dall'uomo, nel caso dell'intelligenza artificiale le attività sono compiute, tanto dall'«uomo», quanto dalla «macchina algoritmica».

L'intelligenza artificiale si pone nell'ambiziosa ipotesi di fornire alla macchina la capacità di effettuare la risoluzione automatica dei problemi.

Cioè, il passaggio dal problema rappresentato al problema risolto viene svolto in modo automatico dalla macchina algoritmica.

Invece viene riservato all'esclusiva attività dell'uomo, tanto il passaggio dal problema intuitivo al problema rappresentato, cioè la capacità di «formalizzazione» di un problema, quanto il passaggio dal problema risolto al problema intuitivo, cioè la capacità di «confronto» della soluzione ottenuta del problema con l'esigenza da soddisfare, che ha rappresentato l'inizio del procedimento di risoluzione.

Considerando, in modo unitario, da un punto di vista gnoseologico, tanto il caso della fisica (fenomeno, modello, legge), quanto il caso dell'intelligenza artificiale (problema intuitivo, problema rappresentato, problema risolto), appare chiaro che le attività in gioco possono essere articolate nel modo seguente:

1. Passaggio dal mondo della realtà (fenomeno, in fisica, problema intuitivo, in intelligenza artificiale) al mondo della conoscenza della realtà (modello, in fisica, problema rappresentato, in intelligenza artificiale).

Questo passaggio, oltre che formalizzazione (in fisica) e rappresentazione (in intelligenza artificiale), in filosofia viene chiamato «abduzione»:

2. Passaggio all'interno della conoscenza della realtà (dal modello alla legge, in fisica, dal problema rappresentato al problema risolto, in intelligenza artificiale).

Questo passaggio, oltre che derivazione e formulazione (in fisica) e risoluzione ed esecuzione (in intelligenza artificiale), in filosofia viene chiamato «inferenza» e viene distinto nelle due forme cooperanti dell'«induzione» e della «deduzione».

3. Passaggio dal mondo della cognizione della realtà (legge, in fisica, problema risolto, in intelligenza artificiale) al mondo della realtà (fenomeno, in fisica, problema intuitivo, in intelligenza artificiale).

Questo passaggio, oltre che aspettazione e previsione (in fisica) e confronto e soddisfacimento (in intelligenza artificiale), in filosofia viene chiamato «adduzione».

Le attività dell'*abduzione* e dell'*adduzione*, possono essere chiamate con il termine complessivo di *afferenza*.

Come detto, le attività di *induzione* e di *deduzione*, possono essere chiamate con il termine complessivo di *inferenza*.

Infine l'afferenza e l'inferenza costituiscono il complesso delle attività dell'intelligenza nell'uomo.

Inoltre in gnoseologia, ad esempio secondo il filosofo Henry Bergson, l'intelligenza può essere articolata in due forme.

La prima forma è l'intelligenza dell'*homo creator*, ovvero è l'*intelligenza creativa*, che corrisponde all'afferenza e che individua il tipo di intelligenza che l'uomo esplica quando osserva, nel *mondo della realtà*, un *fenomeno* e inventa, nel *mondo della conoscenza della realtà*, un *modello*.

La seconda forma è l'intelligenza dell'*homo faber*, ovvero è l'*intelligenza fabbricativa*, che corrisponde all'inferenza e che individua il tipo di intelligenza che l'uomo esplica quando considera, nel mondo della conoscenza della realtà, un modello e costruisce, nel mondo della conoscenza della realtà, una *legge*.

Si noti, peraltro, che mentre l'afferenza, cioè l'insieme dell'abduzione e dell'adduzione, sono esclusive dell'attività dell'uomo, l'inferenza, cioè l'insieme dell'induzione e della deduzione, può essere oggetto, o solo dell'uomo, o solo della macchina, o della collaborazione interattiva dell'uomo con la macchina.

Si osservi inoltre che oltre le attività di afferenza (abduzione e adduzione) ed inferenza (induzione e deduzione) e adduzione, esiste un'ulteriore attività, di livello superiore, anch'essa appartenente all'intelligenza creativa e, dunque, sempre esclusiva dell'uomo.

Questa attività è quella di *critica* e consiste nella capacità dell'uomo di rivedere e di modificare un precedente *ciclo* di abduzione, inferenza, induzione e deduzione, adduzione, in un nuovo ciclo, analogo ma migliorativo rispetto al precedente ciclo.

Il miglioramento, di tipo evolutivo, consiste in una migliore conoscenza della realtà che si esplica in una più perfezionata e mirata abduzione e, di conseguenza, in una più efficace induzione e deduzione, con conclusiva più soddisfacente adduzione.

10. Un Classico esempio di Cooperazione tra numeri e simboli

Un classico esempio di risoluzione di problemi, che esalta il viaggio dai simboli ai numeri, è rappresentato dal classico problema, posto da George Polya «in quanti modi è possibile dare 50 centesimi di dollaro con monete da 1, 5, 10, 25 e 50 centesimi».

Il problema appare di natura simbolica, all'inizio, poiché è evidente che un determinato MODO di formare la somma di 50 centesimi, usando un certo numero di monete dei cinque tipi indicati, corrisponde ad un QUADRO contenente una determinata configurazione di simboli rappresentanti i diversi tipi di monete.

Ad esempio, un quadro può essere costruito prevedendo che nel quadro siano disegnate le seguenti quattro diverse sequenze di simboli:

1. una prima sequenza di simboli costituita da cinque circoletti contenenti 1, che rappresentano dunque, simbolicamente, cinque monete da 1 centesimo per un totale di 5 centesimi;

2. una seconda sequenza di simboli costituita da due circoletti contenenti 5, che rappresentano dunque, simbolicamente, due monete da 5 centesimi, per un totale di 10 centesimi;

3. una terza sequenza di simboli costituita da un circoletto contenente 10, che rappresenta dunque, simbolicamente, una moneta da 10 centesimi, per un totale di 10 centesimi;

4. una quarta sequenza di simboli costituita da un circoletto contenente 25, che rappresenta dunque, simbolicamente, una moneta da 25 centesimi, per un totale di 25 centesimi.

Dunque il quadro, descritto rappresenta UNO dei modi con i quali 50 centesimi possono essere dati con 5 monete da 1 centesimo, 2 monete da 5 centesimi, 1 moneta da 10 centesimi, 1 moneta da 25 centesimi, 0 monete da 50 centesimi.

Risolvere il PROBLEMA di Polya consiste, dunque, nel CONTARE i DIVERSI QUADRI POSSIBILI.

Si tratta di contare, di trovare il numero totale di quadri (cioè insieme ordinato di simboli) che rappresentano, ciascuno di essi, il valore di 50 centesimi espresso in monete da 1, 5, 10, 25, 50 centesimi.

Il problema si risolve utilizzando l'impiego delle serie formali, che assumono, in questa applicazione, il nome di funzioni generatrici.

Infatti se si disegnano le diverse possibili sequenze di simboli di 0 monete da 1 centesimo, 1 moneta da 1 centesimo, 2 monete da 1 centesimo, 3 monete da 1 centesimo, e così via, e se si collegano con il segno di addizione + ciascuna serie di simboli con le altre serie che precedono, si ottiene la somma di infiniti termini, che in matematica si chiama serie, ed in particolare serie formale, nel nostro caso, dato che i termini sommati sono delle sequenze di simboli.

In questa prima serie formale, che rappresenta i diversi modi di impiegare solamente monete da 1 centesimo (in inglese tali monete si chiamano penny, da cui il simbolo P che segue), si otterrebbe la seguente serie formale (i circoletti intorno ai numeri sono sostituiti dalla variabile simbolica z , e la sequenza di n circoletti contenenti 1, invece di indicarla con n simboli z scritti uno accanto all'altro, si indica con la potenza di base z ed esponente n) (si noti che l'esponente n rappresenta anche il valore in centesimi della sequenza, poiché si tratta del valore di n monete da 1 centesimo, cioè, appunto, di n centesimi) (si ricorda che 0 monete da 1 centesimo è rappresentato dalla potenza di base z ed esponente 0 che vale 1):

$$P = 1 + z^1 + z^2 + z^3 + z^4 \dots$$

Ora, se si disegnano le diverse possibili sequenze di simboli di sequenze di monete da 1 centesimo e da 5 centesimi, possiamo supporre:

1. di apporre 0 monete da 5 centesimi accanto alle diverse sequenze, rappresentate dalla serie formale P, già studiata prima, di simboli di sequenze di monete da 1 centesimo;

2. quindi possiamo supporre di apporre 1 moneta da 5 centesimi accanto alle diverse sequenze, rappresentate dalla serie formale P, già studiata prima, di simboli di sequenze di monete da 1 centesimo;

3. quindi possiamo supporre di apporre 2 monete da 5 centesimi accanto alle diverse sequenze, rappresentate dalla serie formale P, già studiata prima, di simboli di sequenze di monete da 1 centesimo;

4. quindi possiamo supporre di apporre 3 monete da 5 centesimi accanto alle diverse sequenze, rappresentate dalla serie formale P, già studiata prima, di simboli di sequenze di monete da 1 centesimo;

5. quindi possiamo supporre di apporre 4 monete da 5 centesimi accanto alle diverse sequenze, rappresentate dalla serie formale P, già studiata prima, di simboli di sequenze di monete da 1 centesimo;

6. e così via.

Si noti che i modi, rappresentati da P di disposizione delle monete da 1 centesimo devono essere moltiplicati per il simbolo di 0 monete da 5 centesimi, e quindi per il simbolo di 1 moneta da 5 centesimi, e così via.

Inoltre, anche in questo caso si può introdurre la seguente seconda serie formale, che rappresenta i diversi modi di impiegare, oltre che monete da 1 centesimo, anche monete da 5 centesimi (in inglese tali monete si chiamano nickel, da cui il simbolo N che segue), si otterrebbe la seguente serie formale (i circoletti intorno ai numeri sono sostituiti dalla variabile simbolica z , il circoletto contenente il numero 5, cioè 1 moneta da 5 centesimi, viene sostituito dalla potenza di base z e di esponente 5, e la sequenza di n circoletti contenenti 5, invece di indicarla con n potenze di base z e di esponente 5 scritte una accanto all'altra, si indica con la potenza di base z ed esponente $5n$) (si noti che l'esponente $5n$ rappresenta anche il valore in centesimi della sequenza, poiché si tratta del valore di n monete da 5 centesimi, cioè, appunto, di $5n$ centesimi) (si noti che la serie formale P viene a moltiplicarsi per la serie formale costituita dalle sole monete da 5 centesimi) (si ricorda che 0 monete da 5 centesimi è rappresentato dalla poten-

za di base z ed esponente 0 moltiplicato per 5, cioè dalla potenza di base z ed esponente 0 che vale 1):

$$N = (1 + z^5 + z^{10} + z^{15} + z^{20} + \dots)P.$$

Ripetendo lo stesso ragionamento, si disegnano le diverse possibili sequenze di simboli di sequenze di monete da 1 centesimo, da 5 centesimi e da 10 centesimi (in inglese tali monete si chiamano dime, da cui il simbolo D che segue) e si ottiene, con considerazioni analoghe, la seguente serie formale.

$$D = (1 + z^{10} + z^{20} + z^{30} + z^{40} + \dots)N.$$

Ripetendo lo stesso ragionamento, si disegnano le diverse possibili sequenze di simboli di sequenze di monete da 1 centesimo, da 5 centesimi, da 10 centesimi e da 25 centesimi (in inglese tali monete si chiamano quarter, da cui il simbolo Q che segue) e si ottiene, con considerazioni analoghe, la seguente serie formale.

$$Q = (1 + z^{25} + z^{50} + z^{75} + z^{100} + \dots)D.$$

Ripetendo lo stesso ragionamento, si disegnano le diverse possibili sequenze di simboli di sequenze di monete da 1 centesimo, da 5 centesimi, da 10 centesimi, da 25 centesimi e da 50 centesimi (in inglese tali monete si chiamano half dollar, però useremo il simbolo C e non H perché la serie formale C indica i diversi quadri di monete da 1, 5, 10, 25, 50 centesimi, quadri che esprimono un certo modo di dare una determinata somma di centesimi) e si ottiene, con considerazioni analoghe, la seguente serie formale:

$$C = (1 + z^{50} + z^{100} + z^{150} + z^{200} + \dots)Q.$$

È noto, dalla matematica discreta, che, una serie formale del tipo:

$$1 + z^m + z^{2m} + z^{3m} + z^{4m} + \dots$$

si può esprimere nel seguente modo:

$$1/(1 - z^m).$$

Pertanto, le precedenti serie formali possono essere espresse come segue:

$$\begin{aligned} P &= 1/(1-z) \\ N &= P/(1-z^5) \\ D &= N/(1-z^{10}) \\ Q &= D/(1-z^{25}) \\ C &= Q/(1-z^{50}) \end{aligned}$$

Oppure, si può scrivere anche:

$$\begin{aligned} (1-z)P &= 1 \\ (1-z^5)N &= P \\ (1-z^{10})D &= N \\ (1-z^{25})Q &= D \\ (1-z^{50})C &= Q \end{aligned}$$

In ciascuna delle precedenti cinque espressioni, che sono delle equazioni algebriche, si possono uguagliare le potenze di z di pari esponente poste al primo od al secondo membro dell'equazione.

Indicando con n , l'esponente della potenza di base z , e con P_n , N_n , D_n , Q_n , C_n il coefficiente di tale potenza appartenente a P , N , D , Q , C , si ottengono le seguenti cinque equazioni numeriche.

$$\begin{aligned} P_n &= P_{n-1} + [n=0] \quad (\text{si ricorda che l'espressione } [n=0] \text{ vale 1, se } n=0, \text{ vale 0 se } n>0) \\ N_n &= N_{n-5} + P_n \\ D_n &= D_{n-10} + N_n \\ Q_n &= Q_{n-25} + D_n \\ C_n &= C_{n-50} + Q_n \end{aligned}$$

Sulla base di queste cinque relazioni numeriche, siamo in grado di calcolare i vari coefficienti.

Innanzitutto, per quanto riguarda il coefficiente P_n , si hanno i seguenti valori:

$$\begin{aligned} P_0 &= 1, P_5 = 1, P_{10} = 1, P_{15} = 1, P_{20} = 1, P_{25} = 1, P_{30} = 1, \\ P_{35} &= 1, P_{40} = 1, P_{45} = 1, P_{50} = 1. \end{aligned}$$

Quindi, per quanto riguarda il coefficiente N_n , si hanno i seguenti valori:

$$\begin{aligned} N_1 &= 1, N_5 = 2, N_{10} = 3, N_{15} = 4, N_{20} = 5, N_{25} = 6, N_{30} = 7, N_{35} = 8, \\ N_{40} &= 9, N_{45} = 10, N_{50} = 11. \end{aligned}$$

Quindi, per quanto riguarda il coefficiente D_n , si hanno i seguenti valori.

$$\begin{aligned} D_1 &= 1, D_5 = 2, D_{10} = 4, D_{15} = 6, D_{20} = 9, D_{25} = 12, D_{30} = 16, \\ D_{35} &= 20, D_{40} = 25, D_{45} = 30, D_{50} = 36. \end{aligned}$$

Quindi, per quanto riguarda il coefficiente Q_n , si hanno i seguenti valori:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 1, Q_5 = 1, Q_{10} = 1, Q_{15} = 1, Q_{20} = 1, Q_{25} = 13, Q_{30} = 17, Q_{35} = 21, \\ Q_{40} &= 26, Q_{45} = 31, Q_{50} = 49. \end{aligned}$$

Quindi, per quanto riguarda il coefficiente C_n , si hanno i seguenti valori:

$$C_1 = 1, C_5 = 1, C_{10} = 1, C_{15} = 1, C_{20} = 1, C_{25} = 13, C_{30} = 17, \\ C_{35} = 21, C_{40} = 26, C_{45} = 31, C_{50} = 50.$$

Giunti al termine della nostra valutazione numerica, possiamo chiederci, quale sia il significato dei coefficienti ora determinati.

La risposta è semplice ed al tempo stesso sorprendente: il coefficiente C_n rappresenta il numero di volte che, nella serie formale C , compare una potenza di base z e di esponente n , vale a dire che C_n è il numero dei quadri, formati con monete da 1, 5, 10, 25, 50 centesimi, il cui valore espresso in centesimi è proprio n .

Ed allora, alla domanda: quanti sono i modi diversi, cioè i quadri di simboli, con i quali possiamo dare 50 centesimi con monete da 1, 5, 10, 25, 50 centesimi, possiamo rispondere che tale numero di diversi quadri di simboli è fornito, secondo i risultati ottenuti precedentemente, dal valore numerico del coefficiente:

$$C_{50} = 50$$

Questa sorprendentemente semplice soluzione, che illustra come sia utile il viaggio dai simboli ai numeri, mediante l'impiego delle *serie formali* (dove il termine formale fa proprio riferimento ad una forma che rappresenta simbolicamente una verità), ha portato i matematici a ridenominare le serie formali, quando vengono impiegate, come in questo esempio, per calcolare la soluzione di problemi di conteggio numerico, con la nuova dizione di *funzioni generatrici*.

Dunque anche i matematici esprimono, attraverso l'adozione del loro linguaggio tecnico, la convinzione che talvolta, in modo potentemente semplice, la soluzione di complessi problemi numerici si affronta partendo da astratte ed efficaci rappresentazioni simboliche.

11. Conclusioni

In questo lavoro abbiamo voluto avvalorare l'importante tesi epistemologica che vede un determinato formalismo (con il quale un determinato modello, dato dalla forma desiderata, viene ottenuto plasmando il formalismo disponibile) come un mezzo che talvolta si affianca ad un altro formalismo, cioè ad un altro mezzo alternativo, nel fornire una molteplice cooperazione alle esigenze conoscitive dell'uomo.

La scelta di vari formalismi, e l'integrazione tra di essi, è descritta in due scenari scientifici moderni, presenti all'interno dell'intelligenza artificiale e della robotica, che vedono impiegato, sia il formalismo dei numeri sia il formalismo dei simboli, talvolta in un processo ascendente per astrazione, dai numeri ai simboli, talvolta in un processo discendente per astrazione, dai simboli ai numeri.

Lo scienziato sperimentale, guidato dall'insegnamento pitagorico, scopre, con spirito di tolleranza nelle alternative opzioni che numeri e simboli gli offrono, come una cultura moderna ed unitaria fornisca la più efficace base per affrontare anche problemi ardui, sia sul piano speculativo, sia sul piano operativo.

Il lavoro viene concluso, affrontando un classico problema, che nella sua apparente primitiva valutazione, viene affrontato e risolto, in modo sorprendentemente semplice, mediante l'impiego delle serie formali (strumento simbolico), ovvero mediante l'impiego delle funzioni generatrici (strumento numerico).

Ciò conclude, con la massima efficacia argomentativa ed illustrativa, la tesi della permeabilità e della sinergia che lega tra loro i numeri ai simboli ed i simboli ai numeri.

Bibliografia

- [AMAREL 1968]
AMAREL, S. (1968), *On representation of problems of reasoning about actions*. In Michie, D., ed., *Machine Intelligence*, 3, American Elsevier, New York, pp. 131-171.
- [CARBONELL 1981]
CARBONELL, D.G. (1981), *A computational model of analogical problem solving* Proc. IJCAI 7, pp. 147-152.
- [ERNST 1982]
ERNST, G.W. and GOLDSTEIN, M.M. (1982), *Mechanical discovery of classes of problem-solving strategies* JACM, 29, pp. 1-23.
- [GRAHAM 1990]
GRAHAM, R.L., KNUTH, D.E. AND PATASHNIK, O. (1990), *Concrete Mathematics* Addison Wesley Publishing Company Reading, Massachusetts, USA.
- [GUIDA 1979]
GUIDA, G. and SOMALVICO, M. (1979), *A method for computing heuristics in problem solving*, Information Sciences, 19, pp. 251-259.

[HART 1968]

HART, E. P., NILSSON, N.J., and RAPHAEL, N.J. (1968), *A formal basis for heuristic determination of minimum cost paths*, IEEE Trans. on Systems, Science, and Cybernetics, SSC-4(2), pp. 100-107.

[KORF 1980]

KORF, D.E. (1980), *Toward a model of representation changes*. Artificial Intelligence, 14, pp. 41-78.

[MINSKY 1985]

MINSKY, M. (1985), *La Società della Mente*, Adelphi, Milano.

[NILSSON 1971]

NILSSON, N.J. (1971), *Problem-solving methods in artificial intelligence*, McGraw-Hill, New York.

[NILSSON 1980]

NILSSON, N.J. (1980), *Principles of Artificial Intelligence*, Tioga, Palo Alto, Ca.

[SOMALVICO 1984]

SOMALVICO, M. (1984), *Robotica: linee di sviluppo e applicazioni industriali*. Enciclopedia della Scienza e della Tecnica, Mondadori, Milano.

[SOMALVICO 1985]

SOMALVICO, M. (1985), *Visione e intelligenza artificiale in fabbrica*, Enciclopedia della Scienza e della Tecnica, Mondadori, Milano.

[SOMALVICO 1986]

SOMALVICO, M. (1986), *Prospettive e impieghi dei sistemi esperti*, Enciclopedia della Scienza e della Tecnica, Mondadori, Milano.

[SOMALVICO 1987]

SOMALVICO, M. (1987), *L'Intelligenza Artificiale*, Rusconi Editore, Milano.

[SOMALVICO 1991]

SOMALVICO, M. (1991), *Intelligenza Artificiale*, Enciclopedia Treccani, Aggiornamento Roma.

[SOMALVICO 1997]

SOMALVICO, M. (1997), *Intelligenza Artificiale. Aspetti Scientifici e Applicazioni*, Istituto Lombardo di Scienze e Lettere Milano.

Vittorio Emanuele Esposito

Nel labirinto delle complessità: le coordinate pitagoriche

Posto che intorno a Pitagora, alla sua figura storica, al suo pensiero, al suo insegnamento e alla sua scuola, si ignora molto più di quanto si conosca, come è emerso, anche in questa sede, dalla rassegna critica delle fonti e dall'analisi della interpretazione di Aristotele, svolte magistralmente dal prof. Giannantoni, ci si può chiedere se e come questa incerta e problematica tradizione, che, nel tempo, ha incorporato, in numero crescente, elementi fantasiosi e leggendari, codificati, poi, nelle *Vite di Pitagora* del I-IV secolo d.C., possa, ancora oggi, ragionevolmente orientare il cammino della scienza e sostenere il necessario rinnovamento della cultura, alimentando, in particolare, le legittime speranze dei calabresi in un risveglio civile, che essi vedono strettamente collegato, se non dipendente dalla riappropriazione e dalla riscoperta del lontano ed illustre passato magno-greco e in special modo del pitagorismo.

È un fatto che Pitagora, al di là delle singole dottrine, delle scoperte e delle regole di vita, a lui attribuite, come proiezione culturale e figura simbolica, ha avuto per l'Occidente un'importanza, sotto certi aspetti, pari a quella esercitata, nei rispettivi contesti del mondo orientale, dai grandi riformatori religiosi suoi contemporanei: da Buddha, a Lao-Tsè, a Confucio, a Zarathustra.

La sua influenza va ben oltre la pur lunga durata di una tradizione specificamente pitagorica, in gran parte sotterranea e connessa all'esistenza di società di iniziati che si ispiravano al suo Verbo, e anche oltre la suggestione esercitata su scienziati di ogni epoca dalla sua intuizione matematica del mondo.

Alla nascita della scuola di Pitagora a Crotone, risale, infatti, l'apertura di un orizzonte culturale e l'indicazione di un modello di vita, che ha poi caratterizzato tanta parte della coscienza europea, nelle sue espressioni laiche e religiose: un modello ancora vivo nella prospettiva storica odierna, nonostante i vari tentativi che, dall'Ottocento in poi, sono stati compiuti per relativizzarlo e per svalutarlo, consistente in quel *bios theoretikòs*, in cui la contemplazione della realtà nella sua apparente bellezza e nelle sue intrinseche ragioni, indipendentemente da ogni finalità utilitaria, viene posta alla base di un'esistenza individuale e collettiva, degna dell'essere umano.