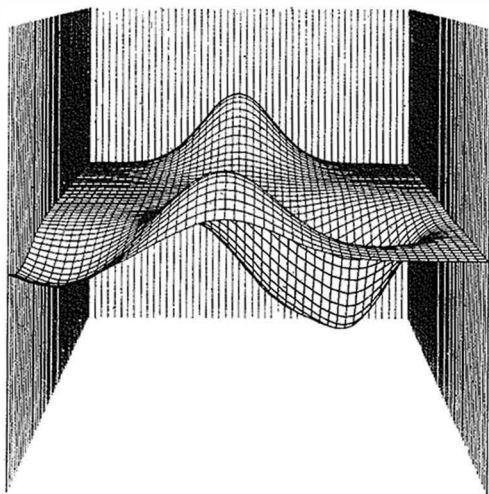


INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Conoscenza e società

a cura di
Achille Ardigò
Graziella Mazzoli

IL PRISMA



FRANCO ANGELI

Il volume si presenta come un'introduzione al mondo dell'intelligenza artificiale mediante un approccio interdisciplinare che vede i direttori di due dipartimenti universitari, sociologia e informatica, confrontarsi con alcuni loro collaboratori e con altri qualificati studiosi. L'IA viene così affrontata nei suoi vari aspetti tematici: dalla comprensione del linguaggio naturale agli aspetti psicologici dell'interazione uomo-macchina, ad alcune aree di applicazione nei sistemi esperti e al più generale rapporto fra lo sviluppo di tali punte avanzate dell'informatica e l'organizzazione societaria. I contributi di Paola Mello, di Graziella Tonfoni, di Silvana Contento e di Gianni Brighetti, introducono il lettore alla comprensione di alcuni degli approcci istituzionali della materia. Seguono saggi di bilancio critico in direzione sia dei "sistemi esperti" in genere, con gli apporti di Aurelio Boari e Paola Mello, sia dei "sistemi esperti" in campo sanitario, con gli apporti di Graziella Mazzoli e del primo curato-

re del volume. Achille Ardigò e Giovan Francesco Lanzara inquadrano sociologicamente il tema dell'intelligenza artificiale in riferimento alla sociologia dei sistemi complessi. Per Achille Ardigò, i grandi investimenti pubblici e privati sull'IA non sono senza rapporti, e rapporti di tipo innovativo, con la questione del controllo sociale. Da ciò i possibili risvolti politici del fenomeno scientifico investigato.

Achille Ardigò, direttore del Dipartimento di sociologia dell'Università di Bologna è stato presidente del gruppo di lavoro su "intelligenza artificiale e società" istituito dal ministro della Ricerca scientifica.

Graziella Mazzoli, professore associato di teoria dell'informazione nella Facoltà di scienze politiche dell'Università di Bologna, è il segretario scientifico del gruppo di lavoro "intelligenza artificiale e società".

I lettori che desiderano essere regolarmente informati sulle novità pubblicate dalla nostra Casa Editrice possono scrivere, mandando il loro indirizzo, alla "Franco Angeli, Viale Monza 106, 20127 Milano", ordinando poi i volumi direttamente alla loro libreria.

INTELLIGENZA
ARTIFICIALE
Conoscenza e società

a cura di

Achille Ardigò
Graziella Mazzoli

FRANCO ANGELI

Maurelio Boari, direttore del Dipartimento di elettronica, informatica e sistemistica dell'Università di Bologna

Gianni Brighetti, ricercatore presso il Dipartimento di psicologia dell'Università di Bologna

Silvana Contento, ricercatore presso il Dipartimento di psicologia dell'Università di Bologna

Giovan Francesco Lanzara, professore associato di sociologia economica presso il Dipartimento di scienze storico-sociali dell'Università di Bari

Paola Mello, frequenta il dottorato di ricerca presso il Dipartimento di elettronica, informatica e sistemistica dell'Università di Bologna

Graziella Tonfoni, ricercatore presso l'Istituto di glottologia dell'Università di Bologna

INDICE

Introduzione, di <i>Achille Ardigò</i>	pag. 7
1. L'intelligenza artificiale come ambito di interesse sociologico, di <i>Achille Ardigò</i>	» 11

Parte prima

1. Metodi e problemi nella rappresentazione della conoscenza, di <i>Paola Mello</i>	» 35
2. Intelligenza artificiale: comprensione del linguaggio naturale e complessità, di <i>Graziella Tonfoni</i>	» 64
3. Interazione uomo-macchina intelligente: aspetti cognitivi e vissuti emozionali, di <i>Silvana Contento</i> e <i>Gianni Brighetti</i>	» 83
4. Intelligenza artificiale e controllo sociale, di <i>Achille Ardigò</i>	» 96

Parte seconda

1. Struttura e organizzazione dei sistemi esperti, di <i>Maurelio Boari</i> e <i>Paola Mello</i>	» 113
2. Computer, società, salute, di <i>Achille Ardigò</i>	» 135
3. Comunicazione e tecnologia nella diagnostica medica: un'applicazione dell'intelligenza artificiale, di <i>Graziella Mazzoli</i>	» 151

Parte terza

1. Il problema della generatività dei sistemi sociali complessi: un'indagine sui modelli, di <i>Giovan Francesco Lanzara</i>	» 175
--	-------

INTRODUZIONE

Il libro che presento è in larga parte il frutto del primo dei seminari interdipartimentali promosso dal Dipartimento di Sociologia che dirigo, all'Università di Bologna, con la collaborazione del Dipartimento di elettronica, informatica e sistemistica dello stesso ateneo, e di altri docenti universitari, non solo dell'Alma Mater.

La comunicazione interdisciplinare, pur se su un medesimo oggetto materiale del sapere, è sempre un'impresa difficile; debbo dire tuttavia che anche sulla scorta di seminari successivi al primo e sullo stesso tema – promossi da Graziella Mazzoli e da chi scrive – si è creato un interscambio linguistico e concettuale, sorretto da processi empatici intersoggettivi, che ha costituito, per i curatori del volume una delle esperienze più arricchenti del nostro recente lavoro di ricerca.

Di questo spirito di collaborazione debbo essere grato in particolare al collega Aurelio Boari, direttore del Dipartimento di elettronica informatica sistemistica alla Facoltà di ingegneria di Bologna.

Il ringraziamento dei curatori del volume va naturalmente anche agli altri collaboratori del volume collettaneo: Silvana Contento e Gianni Brighetti, Giovan Francesco Lanzara, Paola Mello e Graziella Tonfoni. Completano l'opera alcuni miei saggi che sono nati da relazioni a convegni e che riflettono, in campi diversi, un comune orientamento di ricerca. È quell'orientamento che mi ha portato, da alcuni anni, per lo stimolo iniziale di Massimo Negrotti e con la collaborazione di Graziella Mazzoli, a cimentarmi – malgrado le difficoltà – con questa nuova frontiera della conoscenza che sono le ricerche di intelligenza artificiale, un ambito scientifico-tecnologico dalle fondazioni epistemologiche forse un po' affrettate, non a caso ancora concepite in periodo bellico, e che comunque entra ora, a detta di non pochi, nel suo momento della verità. Dalla genesi del mio interesse per il tema – affrontato, prima, in termini di pen-

siero critico e in polemica con alcune versioni assai azzardate, della intelligenza artificiale, alla attuale fatica, con validi collaboratori, per tentare una applicazione di intelligenza artificiale – in campo di politiche sociali per anziani, debbo dire che ho tratto anche insegnamenti generali nell'approccio alla conoscenza.

Il fatto si è che le ricerche di intelligenza artificiale – che contano appena tre decenni di vita – sono state e sono orientate, direi quasi costrette anche nelle loro applicazioni molteplici oggi crescenti, a cercare di capire come si forma e si organizza la conoscenza umana. Anche la conoscenza più approssimativa, non formalizzata, di senso comune, per le tante situazioni in cui si è attori nei nostri mondi di vita quotidiana dati per scontati. Sono ricerche che hanno dovuto fare i conti molto severamente con la logica, anzi con le logiche, a partire da quella matematica, come con le modellistiche più varie di ricostruzione della memoria quotidiana. Una delle caratteristiche che distinguono tali ricerche da quelle madri nella filosofia, nella logica cognitiva, nella psicologia, nella sociologia della conoscenza, per non parlare dei linguaggi fisico-matematici, è che esse devono fare i conti con la traduzione e sperimentazione mediante computer, mediante l'interazione uomo-macchina cosiddetta « intelligente ».

Dal cammino compiuto dagli scienziati e cultori di intelligenza artificiale, non privo di clamorosi insuccessi e di contrasti interni, viene a noi sociologi una doppia lezione – questo almeno uno degli insegnamenti generali che ne ho tratto. La prima lezione concerne la severità dell'impegno formalizzatorio; se non sempre il rigore; la seconda lezione è in una traiettoria apparentemente opposta alla prima, verso una grande disponibilità e flessibilità a quei saperi empirici, anche esperienziali non formalizzati, che sono così connessi con la plasticità delle azioni sociali, non solo professionali. In questa seconda traiettoria, la conoscenza – quale insieme di informazioni e asserzioni con cui sia una persona sia un sistema collettivo esperiscono la vita, affrontano le sfide di un ambiente e imparano ad adattarlo e a trasformarlo – non può essere ricondotta tutta entro la logica dimostrativa classica. Apprendere dalla vita è qualcosa di ben diverso dal dimostrare un teorema matematico sui banchi del liceo o produrre corretti sillogismi. Non a caso la rappresentazione di conoscenza nei « sistemi esperti » – una delle maggiori applicazioni dell'intelligenza artificiale, specie nel campo delle professioni – è avvenuta ed avviene con tanto rilievo dato a sistemi rivali a quello della logica deduttiva da predicati, a partire dalla logica *fuzzy*.

E non a caso dagli scienziati di intelligenza artificiale viene tanta varietà di modelli interpretativi sul come realmente lavori la mente umana anche solo di un bambino, e sul come la conoscenza si traduca e si esprima in linguaggio naturale.

Non a caso, minoranze di matematici applicativi, per quel poco che mi è dato apprendere, specie in rapporto agli stimoli forniti dalle tematiche di intelligenza artificiale, sembrano abbandonare l'interesse ai modelli stocastici per nuove direzioni di applicazione matematica, in direzione di fenomeni apparentemente caotici o di giudizi umani imprecisi con cui peraltro gran parte dell'umanità si muove, accumula sapere esperienziale, opera nei tanti mondi della vita quotidiana.

È qui che i nuovi processi cognitivi e riproduttivi di conoscenze – nell'interazione uomo-« macchina intelligente » – possono essere storicizzati in rapporto alle società di riferimento, in rapporto a problemi di controllo sociale e di solidarietà, in rapporto ai più drammatici problemi di fronte ai quali le nostre società nazionali scientificamente avanzate, ma tutta la società umana ormai, si trova. Problemi di controllo dell'ambiente inquinato, problemi di pace e di guerra, con sovraccarichi di difese più o meno strategiche, problemi di irrazionalità e ingiustizie crescenti, tra il massimo di razionalizzazioni settoriali mosse dalle potenze commerciali o militari di questo mondo.

Viene da pensare, insomma, che la gran massa di investimenti in ricerche di intelligenza artificiale con gli hardware ed i software connessi, specie negli Stati Uniti e nel Giappone, ma anche – si licet – l'incontro tra sociologia e scienze computazionali di intelligenza artificiale, abbiano qualche relazione con la crescita di complessità e la perdita dell'asse centro-periferia nella vita di relazione dell'umanità contemporanea, abbiano qualche connessione significativa con la stessa specializzazione e frammentazione dei saperi pratici e delle condotte di vita della gente comune. Si direbbe che anche certi matematici, anche certi informatici di IA, si rendano conto – coi sociologi – che le leggi della probabilità nei fatti sociali sono ormai insidiate dalla frammentazione delle condotte di vita, e dagli imprevedibili nelle disastrose relazioni sistema-ambiente. Parrebbe che non siano più così certe le maggioranze silenziose facilmente interpretabili, di fronte sia alle sempre più spinte differenziazioni di codici sottosistemici come di gruppi nell'ambiente umano di ogni sistema nazionale, pur entro la superficiale koinonia formata dalle telecomunicazioni di massa.

Di qui, la ricerca degli informatici di intelligenza artificiale per

cercare di aiutare tanti diversi operatori e professionisti nelle sabbie mobili della società, ai fini di uno sforzo di adattamento quotidiano alle normative collettive, alle aspettative altrui e alle continue sfide dell'ambiente e alle personali incertezze; un adattamento non distruttivo delle identità individuali e di gruppo e delle conoscenze di ieri.

Al lettore del volume, si aprono capitoli che possono essere considerati come una qualificata introduzione al mondo dell'intelligenza artificiale, nelle sue tematiche di ricerca delle rappresentazioni computazionali della conoscenza, in alcuni dei campi applicativi e in alcune direzioni di pensiero riflesso sui più generali impatti sociali della rivoluzione informatica, di cui le ricerche di intelligenza artificiale sono una delle punte più avanzate.

Achille Ardigò

Cervia, 6 luglio 1986

1. L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE COME AMBITO DI INTERESSE SOCIOLOGICO

di Achille Ardigò

1. Credo che il sociologo il quale si accinga a ragionare attorno a quell'avanzato e rigogliosissimo (almeno quanto a risorse) ramo della cibernetica e delle scienze computazionali, che è l'« intelligenza artificiale » (d'ora in poi indicata con: IA)¹ debba armarsi del meglio dei suoi schemi e metodi di approccio alla complessità.

L'IA non è solo né tanto un fronte tra i più avanzati, quanto a ricerca scientifica, nell'offensiva delle « nuove tecnologie ». Essa è forse, prima di tutto una sfida imitativa² portata non già a prodotti dell'uomo ma all'uomo stesso inteso come mente e/o cervello.

Una sfida complessa nelle sue stesse fondazioni epistemologiche sino al limite dell'ambiguità. Non a caso, ha scritto una delle più autorevoli coscienze critiche in questo campo, il prof. J. Weizenbaum del MIT, « l'intelligenza artificiale ... è stata straordinariamente resistente al tentativo di una precisa definizione »³.

Del resto, l'inventore dei termini: « intelligenza artificiale », Marvin L. Minsky -- che è anche uno dei massimi scienziati del settore,

1. Il termine di IA compare la prima volta nella tesi di dottorato in matematica di Marvin L. Minsky presentata a Princeton nel 1952. Nell'estate del 1956, alla ormai storica -- per gli specialisti del settore -- conferenza del Dartmouth College, tra un ridotto numero di scienziati computazionali, psicologi e fisiologi, il termine venne accettato dalla comunità dei ricercatori di IA presenti, la sperimentazione effettiva è avvenuta in poco più di un quarto di secolo, con un'accelerazione enorme dalla fine degli anni '70 in poi -- quanto a persone ed a finanziamenti impegnati.

2. Cfr. in proposito, A. Ardigò, *Un nuovo processo mimetico: le ricerche di « intelligenze artificiali »*.

Interrogativi ed ipotesi di rilevanza, in M. Negrotti, a cura di, *Intelligenze artificiali e scienze sociali*, Angeli, Milano, 1984, pp. 30-47.

3. Cfr. J. Weizenbaum, *Once More: The Computer Revolution*, in M.L. Dertouzos, J. Moses, *The Computer Age: A Twenty-Year View*, The Mit Press, Cambridge (Mass.), 1981³, pp. 439-458; v. p. 454.

anch'egli al MIT – ha scritto: « L'IA è la scienza per costruire macchine [e programmi] che fanno cose le quali – se fatte dagli uomini – richiederebbero intelligenza ».

L'ambiguità cibernetica propria di tale risposta rinvia alla prima fonte dell'ambiguità, che è costituita dal famoso *test* di Alan Turing, del matematico inglese, morto a 41 anni, tra i pionieri dell'informatica.

Il *test* di Turing può essere così sintetizzato: « Se in una conversazione mediante telescriventi, un computer con programma prende il posto di un umano e risponde all'interrogante in modo tale da non fargli credere che è una macchina, allora è una macchina intelligente »⁴.

In genere a tali problemi di concettualizzazione si rimedia indicando i campi in cui, da parte di scienziati universitari e centri di ricerca e sviluppo commerciali, si è cercato e si cerca, con qualche successo, e non pochi insuccessi, di rendere simulabili al computer – attraverso programmi di IA – attività intellettuali.

Ne ricordiamo alcuni di tali campi o filoni di ricerca:

- comprendere il linguaggio naturale e reinterpretarne automaticamente elementi costruiti di significato;
- argomentare, sulla base di regole euristiche incorporate nel programma e operanti su basi dati memorizzate dai computer, in interazione con persone, così da simulare comunicazioni di senso comune uomo-uomo;
- fare e verificare ipotesi che colleghino fatti a regole, secondo logiche inferenziali più o meno automatizzate;
- rendere comunicabili, mediante programmi di IA, « sistemi esperti » composti di regole di produzione e di basi dati, che riflettano esperienze pratico-professionali di eccellenti scienziati e professionisti, osservati e interrogati mentre lavorano;
- trasferire su robot certe simulate capacità di problem solving e di interpretazione della visione, proprie della intelligenza umana;
- far progredire il software di programmazioni e simulazioni in linguaggi sempre più simbolici e in programmi sempre meno algoritmici, di pari passo con la sperimentazione di architetture di hardware sempre più potenti;
- utilizzare tali *utilities* interattive uomo-macchina per perfezionare (anche avvalendosi di teorie come quella della comunicazione, nate in contesto sociale umano) le ricerche scientifiche in ogni campo, a partire da quello biologico, con particolare riguardo alla neuro-

4. Per una esposizione più ampia del *test* di Turing, cfr. D.R. Hostadter, *Goedel, Escher, Bach: un'eterna ghirlanda brillante*, Adelphi, Milano, 1984, pp. 642-648

biologia, per la crescita del sapere sui processi cerebrali e della mente umana.

È pur vero che il divario tra le mete e le realizzazioni è ancora forte e rischia di rendere ormai impazienti e nervosi quanti, poteri pubblici, corporations private e gruppi di scienziati, vi hanno da anni investito – specie negli ultimi due o tre lustri – risorse ingenti.

È pur vero che la sfida giapponese agli Stati Uniti, annunciata agli inizi di questo decennio, con il progetto governativo-privato di produzione di computer di quinta generazione, registra ritardi e incertezze⁵. (Le più note realizzazioni dell'intelligenza artificiale si sono tradotte, finora, in *sistemi esperti*, capaci di trattare e arricchire, mediante tecniche inferenziali e regole di produzione, conoscenze e informazioni, esatte ed inesatte, attorno a specifici ambiti scientifici, professionali, educativi ed operativi, specie in riferimento a *problem solving* .

Ma ciò che sta dietro trent'anni di lavoro degli scienziati computazionali di IA (ingegneri, fisico-chimici, matematici, bio-medici, logici, psicologi, ecc.) è più di un insieme di progetti per simulare, con hardware e con software raffinati, certi processi cerebrali e mentali della persona umana. È tutta una ambizione neo-illuminista e quasi alchemica, che ha sorretto i pionieri dell'IA e i loro allievi e che richiama – specie per i ricercatori e sostenitori della linea forte di IA – quel tipo di ambizione che spingeva il Faust goethiano a studiare le vecchie carte della magia.

È soprattutto una filosofia pratica privilegiante in modi finora impensati le risorse del processo interattivo uomo-macchina, un processo che gli scienziati di IA oggi vogliono sempre meno programmabile algoritmicamente, perché sempre più personalizzato. Per i ricercatori di IA, l'utente tanto meglio può ottenere consigli argomentati e documentati, prodotti ex novo dalla macchina programmata con IA, e tanto meglio può affidare ad essa una parte più o meno larga dei processi diagnostici, valutativi e decisionali, che egli deve svolgere, quanto più è stato ed è interlocutore-alimentatore del programma di IA⁶.

5. Cfr. in merito, S.K. Yoder, *Japan stumbles in bid to be the first to build supersmart computer*, «The Wall Street Journal», 26 ago. 85.

6. Questa linea interpretativa «debole» avvicina l'IA ad un buon data base relazionale integrato con linguaggi inferenziali di tipo logico (ad es. Lisp e Prolog) tanto che si potrebbe – come realisticamente ha suggerito qualcuno – definire «intelligente ogni processo che è in grado di arrivare a conclusioni che contengono più informazione di quanta non ne sia presente nei dati di partenza o input»

Che l'interazione uomo-macchina « intelligente » sia centrale per il nostro tema, lo suggerisce anche lo sforzo – non così diffuso in altri campi delle nuove tecnologie – che scienziati e applicativi fanno per rendere *friendly user* anche l'IA.

L'intelligenza artificiale – ha scritto in proposito M. Negrotti –... persegue obiettivi di ulteriore semplificazione d'uso, per esempio attraverso ricerche destinate a rendere possibile il colloquio con la macchina, o meglio con i programmi, attraverso il linguaggio naturale, dissolvendo in quest'ultimo gli attuali linguaggi d'accesso⁷.

Ma sulla praticabilità dell'interazione uomo-macchina in linguaggio naturale le cautele, come anche ha osservato L. Gallino, non sono mai troppe⁸.

2. Mi rendo conto che ho proposto una descrizione sincretica più che una definizione formale. Ma una formalizzazione definitoria sembra darsi solo all'interno di uno dei vari approcci disciplinati⁹, di studio e di ricerca dell'area e comunque, a mio avviso, non si giungerà mai ad eliminare quella sostanziale ambiguità che ne rivela le origini cibernetiche.

Eppure anche nei confronti di questa interpretazione dell'IA, che possiamo considerare « debole » rispetto a quella degli azzardati teorici dell'equazione: « l'hardware sta al software come il cervello sta

7. M. Negrotti, *Premessa* a M. Negrotti (a cura di), *Intelligenze artificiali e scienze sociali*, Angeli, Milano, 1984, p. 17.

8. L. Gallino, *Problemi di architettura d'un modello di mente/comportamento*, in M. Negrotti (a cura di), *Intelligenze artificiali e scienze sociali*, cit., pp. 59-60.

9. Ad es., secondo l'approccio degli ingegneri robotisti, l'IA è quell'area della scienza degli elaboratori che tenta di costruire macchine capaci di simulare certi comportamenti umani consapevoli e intelligenti. Secondo gli ingegneri cognitivi – cito una definizione di Edward Feigenbaum – professore di scienza degli elaboratori all'università Usa di Stanford – l'IA è « quell'area della scienza degli elaboratori che studia i concetti di ragionamento simbolico e di soluzione dei problemi ad opera dei computer ».

Cfr. E. Feigenbaum, *Sistemi esperti e ingegneria della conoscenza: applicazioni di intelligenza artificiale*, presentazione del seminario promosso in Roma il 28 ottobre 1985 dal dipartimento di informatica e sistemistica dell'Università « La Sapienza » di Roma.

Esistono altre definizioni non ingegneresche. Secondo un approccio logico cognitivistico, l'IA concerne programmi (che girano su computer) con modelli simulativi dei processi, degli schemi, delle connessioni, mediante le quali procede la mente umana.

alla mente umana » o alla folle tesi che anche i computer di IA potranno avere emozioni¹⁰, occorre parlare di complessità. Una complessità che non autorizza a far rientrare-ridurre il tema dell'IA nell'ormai tradizionale discorso delle trasformazioni prodotte e indotte da « rivoluzioni » scientifico-tecnologiche, nei confronti della vita di relazione. L'IA non è solo o tanto una « nuova tecnologia-scienza ».

3. Ciò che Franco Momigliano ha scritto sull'informatica in genere, si applica *a fortiori* per l'IA in specie.

3.1. Si tratta di un'innovazione, che a differenza delle principali innovazioni del passato, non sostituisce e amplia funzioni umane nelle operazioni di trasformazione materiale dei beni, ma sostituisce e amplia soprattutto funzioni, convenzionalmente e forse impropriamente, definite di intelligenza umana. La tecnologia dei microprocessori è infatti una tipica tecnologia di controllo che simula i processi intellettuali, caratterizzata, come tale, da ampie potenzialità di applicazione, sia in processi di produzione che di amministrazione.

3.2. Si tratta di un'innovazione, frutto di autonomo avanzamento del progresso scientifico-tecnologico, la cui « appropriabilità » appare, più che in altre esperienze del passato, condizionata da accumulazione di investimenti precedenti in ricerca di base e applicata, e in capitale umano. Insomma è un'innovazione « che non solo modifica in modo rilevante l'impiego di fattori, ma che sembra modificare la natura stessa dei processi di sostituzione o complementarietà tra i fattori, tradizionali o nuovi »¹¹.

3.3. Ci occupiamo di un indirizzo di studi e ricerche scientifico-tecniche, aggiungo io, che potrà anche portare a bilanci in rosso, tra investimenti ed output, per quanto riguarda le applicazioni utilizzabili in termini di valori di scambio, ma che è destinato ad incidere in profondità sulle ambizioni e le aperture-avventure del pensare riflesso e del sapere scientifico. Del resto, la percezione fortemente ambivalente (nel senso freudiano dell'ambivalenza) che soprattutto questo insieme di « scoperte » ha suscitato nell'opinione pubblica

10. Cfr. A. Sloman, M. Croucher, *Perché i robot potranno avere emozioni*, in M. Negrotti (a cura di), *Intelligenza artificiale e scienze sociali*, cit., pp. 104-124.

11 F. Momigliano, *Le tecnologie dell'informazione: effetti economici e politiche pubbliche*, in A. Ruberti (a cura di), *Tecnologia domani*, Laterza-Seat, Bari, 1985, pp. 99-128; v. pp. 101-103, *passim*.

colta, avverte che le implicazioni dell'IA non sembrano affatto neutrali rispetto ai problemi del senso della vita e del sapere.

4. La sociologia, specie quella di impianto sistemico-funzionalistico degli anni '70, ha largamente attinto, (specie per l'apporto di studiosi come N. Luhmann e dell'economista-sociologo dell'organizzazione e informatico, Herbert A. Simon) alle influenze della cibernetica. E l'IA non è che uno dei rami della cibernetica.

Secondo Marvin Minsky, l'avvento dei computer ha concorso a provocare una divisione nel campo della cibernetica, in tre maggiori direzioni: tutte in diversa misura influenti su alcuni ambiti meno tradizionali di ricerca sociologica.

Le tre grandi vie in cui si è differenziata la cibernetica sono state, sempre secondo M. Minsky:

- 4.1. quella della teoria dei sistemi autoorganizzativi. I sistemi cibernetici, specie quelli viventi, umani e non, sono studiati nelle loro proprietà di adattamento all'ambiente e di autoorganizzazione;
- 4.2. quella rivolta a « costruire modelli operativi di comportamento umano che incorporino, o sviluppino quando richiesto, specifiche teorie psicologiche ». Sviluppata soprattutto al Carnegie Institute of Technology (nella statunitense Mellon University) questa direzione di ricerca mira alla simulazione dei processi elementari di pensiero umano;
- 4.3. quella dell'Intelligenza Artificiale. Questa terza direttrice è, in polemica con la prima, come sottolinea il Minsky, rivolta a far crescere l'interazione uomo-macchine « intelligenti » sia per astratti temi cognitivi sia soprattutto per programmi euristici anche applicativi, in sempre nuovi campi professionali.

Osserva sempre M. Minsky che le due ultime direttrici, si sono sempre più avvicinate sino a fondersi sia perché entrambe usano l'approccio problem-solving nel contesto umano come il modello più importante, sia perché si sono tenute di continuo in una comunicazione piuttosto stretta¹².

5. Vi sono stati, soprattutto dalla metà degli anni '70, nella sociologia anglosassone e francese, degli interfacciamenti prolungati, tra cibernetica e scienze sociali, dovuti in specie all'influenza della prima delle tre vie cibernetiche indicate dal Minsky: la teoria dei sistemi autoorganizzativi o autopoietici. Mi riferisco ai notevoli

12. M. Minsky (a cura di), *Semantic Information Processing*, cit., pp. 6-9; e capp. 8, 9, pp. 419-432

impatti analogici sulla sociologia e alle vere e proprie incursioni sociologiche, di scienziati naturali e chimico-fisici, quali Henri Atlan, Francisco Varela, Humberto Marturana, Ilya Prigogine e alla grande divulgazione che, di tale teoria dei sistemi autopoietici, ha compiuto il sociologo Edgar Morin. Massima è, poi, l'influenza di tale teoria dell'autoorganizzazione nella ricca produzione di N. Luhmann nel decennio, per lui fecondissimo degli anni '70.

Assai minore l'influsso specifico di IA sulla sociologia, che però è iniziato, e di cui questo stesso saggio è una piccola verifica.

Tale interfacciamento tra cibernetica e sociologia si può comprendere quando si pensi alla decisività che la tematica della selezione della complessità del mondo ambiente ha assunto nell'approccio sistemico del decennio scorso, di pari passo coll'affermarsi di teorie che accettavano la debolezza, la limitatezza, la oscillabilità delle opzioni, gli errori al tavolo della teoria dei giochi, compiute dai singoli.

Macchina « intelligente » e sistema sociale autoreferenziale almeno questo hanno avuto in comune. nelle riflessioni e sperimentazioni di scienziati di IA e di sociologi nei due/tre lustri passati: di essere entrambi funzionalizzati alla riduzione della complessità del mondo, del mondo stesso delle informazioni, e alla più flessibile adattabilità funzionale degli strumenti selettivi, sia verso le informazioni che verso gli altri input-output nei rapporti sistema/ambiente.

Ma gli iniziati impatti anche dell'IA sulle scienze sociali in genere e sulla sociologia in specie, e *viceversa*, sono destinati ad allargare ulteriormente il campo degli interfacciamenti, anche se occorre tener conto del declino iniziato attorno alla metà degli anni '80, della popolarità della *system analysis* sociologica.

6. Credo che almeno due siano i grandi ambiti di interfacciamento tra IA e sociologia, su cui occorre concentrare attenzione e ricerca. Vediamoli:

6.1. la cibernetica di IA come ambito riflessivo analogico per la teoria e l'epistemologia sociologiche;

6.2. gli impatti sociali delle trasformazioni nella vita produttiva e relazionale delle società, in riferimento alla diffusione dell'IA.

Vi è poi un terzo ambito, non peraltro così rilevante né ancora così riflesso nelle fenomenologie concrete, di cui non tratterò; ed è quello delle applicazioni di IA al lavoro professionale, di documentazione, ricerca, comparazione e comunicazione selettiva, del sociologo.

Qualche riflessione è possibile e opportuna attorno a ciascuno dei due maggiori ambiti sopra definiti, a cominciare dal primo.

7. La cibernetica di IA come ambito riflessivo analogico per la teoria e l'epistemologia sociologica.

La sociologia è oggi alle prese con due prevalenti paradigmi, nessuno dei quali soddisfacente per sé solo: quello dell'individualismo metodologico, di ascendenze weberiane e quello sistemico selettivo della complessità in cui cibernetica, fenomenologia, ermeneutica e ciò che resta dello strutturalismo vi sono mescolati. Il problema teorico più suggestivo è quello della ricerca di un metaparadigma che comunichi con entrambi fino a compenetrarli, se possibile. Almeno questa la mia opzione, per la quale ritengo che dalle ricerche più teoriche di IA possano venire importanti elementi riflessivi.

Sull'importanza dello scambio teorico-epistemologico con la cibernetica non sono pochi i sociologi che si sono pronunciati sin dall'inizio degli anni '70.

In particolare, come s'è già detto, N. Luhmann, specie in *Illuminismo sociologico* ha sostenuto che sociologia e cibernetica sono sistemi (entrambi in diversa misura esperti) per la selezione della complessità e per superare i rischi di eterogenità e complessità connessi all'ambiente umano, dei singoli e dei piccoli gruppi.

7.1. Tale interfacciamento teorico-epistemologico non è però nella direzione di ricerca da me sopra auspicata, anzi in direzione contraria.

Tutto il lavoro teorico di N. Luhmann, ma anche gli scritti sociologici di H.A. Simon e di altri teorici della *system analysis* nel senso della teoria dell'autoorganizzazione, sono stati rivolti a interfacciare sistemi selettivi artificiali, sociali e macchinici, tra il singolo o il piccolo gruppo, da un lato, e l'eterogeneità crescente ed aggressiva dell'ambiente, dall'altro lato.

Si può addirittura isolare, a proposito del tema in discussione, un influsso dell'IA sulla sociologia, solo sotto il profilo della selettività sistemica assunta senza obblighi di integrazione e di legittimazione sociale nei confronti dei soggetti individuali considerati come ambiente.

Singoli soggetti umani e piccoli gruppi appaiono, in tale prospettiva, sempre più frammentati ed autoorganizzativi in fatto di motivazioni e di comportamenti (fuori dell'ambito dei gregarismi istituzionali) e non sembrano più, a molti sociologi – come invece teorizzò T. Parsons – integrabili entro un sistema societario assunto con sistema valoriale e normativo comune, sia alle collettività istituzionali che agli individui che le compongono.

La stessa razionalità dell'azione individuale è concetto che, in sociologia, è andato dilatandosi, negli anni '70 e in questi primi anni

'80, fino a perdere gli ancoraggi sia con criteri di razionalità strumentale sia anche della razionalità verso fini e valori socialmente condivisi in un dato contesto sociale.

E invece, la selettività dei processi decisionali di governo, pubblico o privato, di collettività, deve poter rispondere al tribunale della ragion di stato o della ragion economica di mercato o della ragion scientifico-tecnologica, si dice. Perciò tale selettività – nuovo nome della razionalità sistemica, ha bisogno – sempre secondo questi scienziati sociali autopoietici ma anche secondo certi cibernetici di IA – di essere protetta da tanta eterogeneità sul fronte individuale, sul fronte di quelle che Daniel Bell qualche anno fa ha chiamato le « contraddizioni *culturali* del capitalismo ».

Perciò molte delle ricerche di IA hanno mirato e tuttora tendono, a surrogare con programmi di JA, almeno in parte, il singolo decisore umano, specie se esposto a situazioni complesse e con possibili eventi traumatici, o se in presenza di troppi, difficili, congegni macchinici da controllare insieme, o di molte informazioni da memorizzare, comparare e impiegare, con processi decisionali rapidi.

Anche la sociologia neo-illuministica teorizza e consiglia la costruzione di sistemi sociali rinnovati, capaci di mediazione selettiva più o meno astratta ed automatica (seguendo regole modellate su prassi flessibili) proprio per ovviare alle insufficienze della selezione delle singole persone a razionalità limitata, di fronte alla eterogeneità sempre più angosciante del mondo esterno. Di qui l'incontro teorico-epistemologico tra orientamenti cibernetici di IA e sociologia sistemica neo-illuminista.

7.2. Nella direzione della comunicazione e dello scambio, tra sociologia e cibernetica di IA, non emergono però solo le equivalenze funzionali fra strumenti intellettuali per la selettività previa della complessità, nei rapporti sistema/ambiente.

Tra gli scienziati computazionali che si dedicano all'IA, si è accresciuto l'interesse per scoprire come lavora il cervello umano, come memorizza e come richiama i ricordi, come collega le sensazioni, come cataloga le immagini. Questo interesse non è ristretto all'ambito della psicologia cognitiva che cerca di riprodurre processi mentali secondo logiche computazionali. La meta è la creazione di computer di nuova « generazione » assai potenti come architettura, per creare sosia della mente di un uomo ed esporli a determinate sfide e rischi, in processi di controllo e di decisione in cui – si dice – sentimenti e limiti di memoria potrebbero paralizzare il decisore umano anche più preparato, come del resto è avvenuto.

Non pochi scienziati computazionali, pur materialisti, si interro-

gano, inoltre, sulla coscienza. « Ma cosa è mai la coscienza? » si chiedono Douglas R. Hofstadter e Daniel C. Dennet, all'inizio di *L'io della mente*. « Un calcolatore o un robot potrebbero essere coscienti? »¹³.

Recentemente un neurofisiologo, E.R. John, ha cercato di definire la coscienza in termini oggettivi in questo modo:

...un processo in cui le informazioni relative a modalità individuali multiple di sensazione e di percezione sono combinate in una rappresentazione multidimensionale unificata dello stato del sistema e del suo ambiente e integrate in informazioni relative ai ricordi e ai bisogni dell'organismo, generate reazioni emotive e programmi di comportamento per adattare l'organismo al suo ambiente¹⁴.

Si tratta di un approccio chiaramente di impianto cibernetico e sistemico insieme. Ma è il solo approccio? No di certo, né per l'IA né per la sociologia.

È ad esempio emergente, tra scienziati di IA, lo sforzo per ridurre, anche se in una prospettiva di ricerca non a breve, il divario enorme che separa le più sofisticate simulazioni di IA relative a processi mentali da quell'inaccessibile (alla macchina) nascita della intenzionalità soggettiva e della apertura cognitiva del soggetto all'altro da sé, che è uno dei momenti genetici della vita di relazione umana.

È un tema, questo, dei momenti genetici della sociabilità sia cognitiva che prammatica, che interessa oggi molto i sociologi, sia quelli del versante dell'individualismo metodologico sia soprattutto quelli della fenomenologia sociologica di ascendenze husserliane. Per i secondi, la coscienza è anzitutto esperienza intuitivo-riflessiva

13. Cfr. D.R. Hofstadter, D.C. Dennel, *L'io della mente*, Adelphi, Milano, 1985, p. 19-20.

Scrive D.C. Dennett: « Il nostro comune concetto di coscienza sembra ancorato a due distinti insiemi di considerazioni, che possono essere grosso modo etichettati « dall'interno » e « dall'esterno ». *Dall'interno* la nostra coscienza sembra evidente e diffusa... ». « Le cose di cui io sono cosciente e i modi in cui ne sono cosciente determinano ciò che si prova ad essere me. « Esiste un punto di vista dal quale la coscienza sembra essere un connotato che scinde l'universo in due generi di cose estremamente diverse: quelle che ce l'hanno e quelle che non ce l'hanno. Quelle che ce l'hanno sono *soggetti*... ». *Dall'esterno* ...[quando consideriamo gli altri, di alcuni di questi avvertiamo] « segni o sintomi più o meno veridici della presenza di quel qualcosa che ogni soggetto cosciente conosce dall'interno. Ma come averne una conferma? » ...E questa domanda appare senza risposta » (ivi, p. 22).

14. La citazione sta in R.W. Thatcher, E.R. John, *Foundations of Cognitive Processes*, Erlbaum, Hillsdale, N.J., 1977, p. 294.

che anticipa – con l'*empatia* personale – la comunicazione e la prassi sociali.

Forse, il tema della coscienza anzitutto come empatia sarà uno di quelli che aprirà una nuova dimensione dell'interesse sociologico verso l'IA. Per « empatia » E. Husserl e la sua allieva E. Stein intendono l'esperienza intuitivo-riflessiva con cui la mia coscienza si sforza di comprendere una coscienza estranea, prima ancora di comunicare con essa, attraverso una prima esperienza interpretativa dei segni esterni della corporeità altrui¹⁵.

Sotto un certo profilo, i due concetti: di autoreferenzialità sistemica e di empatia personale possono essere assunti come due poli opposti dello spettroscopio cognitivo, sia personale che collettivo, con cui debbono cimentarsi sia l'IA che la sociologia. Quindi anche un tema di comune interesse. Sono i due poli opposti anche a proposito della selettività nei confronti del mondo esterno complesso. Una selettività che può essere raggiunta per via di rapporti faccia-a-faccia, nella misura in cui la reciproca empatia produce cognizione riflessiva sintetica dell'altro; una selettività che altrimenti va perseguita per via di processi opposti di distanziamento, di tipizzazione, di selezione riduttiva delle molte contingenze, e di altri meccanismi selettivi sistemici fondati sulla differenziazione sociale.

Che la tematizzazione dell'empatia personale possa essere quadro di riferimento anche per le ricerche teoriche di IA è, comunque, un'ipotesi che ricavo da un recente libro del capo del laboratorio di Intelligenza Artificiale dell'università di Yale, Roger C. Schank *The Cognitive Computer on Language, Learning and Artificial Intelligence*, scritto con la collaborazione di Peter G. Childers¹⁶.

Nel libro, dell'ottobre 1984, R.C. Schank utilizza esplicitamente il concetto di empatia.

Egli riconosce che proprio per fare progressi più significativi nel campo della linguistica computazionale, dobbiamo passare: da programmi computazionali che si fermano al *making sense a programmi di intelligenza artificiale che puntino in direzione della piena comprensione empatica, ovviamente senza mai arrivarci*.

Senza mai arrivarci anzitutto perché – è sempre lo stesso Schank che scrive, in ovvia polemica con le interpretazioni troppo ottimistiche degli sviluppi dell'intelligenza artificiale, sulle orme del famoso « test

15. Sul concetto di *empatia* cfr. l'edizione italiana, curata da M. Nicoletti, del volume dell'allieva di E. Stein, *L'empatia*, Angeli, Milano, 1986.

16. Cfr. R.C. Schank con la collaborazione di P.G. Childers, *The Cognitive Computer on Language, Learning and Artificial Intelligence*, Addison-Wesley Co., Reading-Mass., 1980.

di Turing » – le macchine « intelligenti » non potranno mai pensare in modo empatico. « Il livello di completa empatia della comprensione – scrive lo Shanck in *The Cognitive Computer* ¹⁷ – « sembra essere del tutto fuori tiro del computer per la semplice ragione che il computer non è una persona ».

E non è progresso umanistico di poco conto, questo, nello scienziato che John R. Searle prese di mira come campione per eccellenza della « ipotesi forte dell'Intelligenza Artificiale » ¹⁸; quell'ipotesi forte secondo cui attraverso programmi si può creare artificialmente intenzionalità.

Lo Shanck vede ora le ricerche di Intelligenza Artificiale proiettarsi secondo una traiettoria asintotica verso quell'altro da sé, irraggiungibile per artefatti umani pur dotati di potentissime « memorie », che è, appunto, raggiungibile tramite la comprensione coscienziale empatica.

Quale livello di comprensione noi possiamo sperare – egli scrive – che i computer possano con successo raggiungere nei prossimi dieci anni? La risposta è qualcosa nel mezzo dello spettro, ad un punto che noi possiamo chiamare di comprensione cognitiva (*cognitive understanding*). E tale comprensione si colloca a mezzo tra il *making sense* secondo la semantica sistemica e la completa empatia, quasi lungo un asso segnato da queste tre tappe:

Making sense - cognitive understanding - complete empathy.

Si tenga a mente che noi stiamo parlando – dice sempre lo Shank – del mezzo dello spettro, non del profondo livello finale. L'intelligenza umana si è dimostrata così complicata che 2500 anni di indagine filosofica e 100 anni di neuroscienze si sono rivelati incapaci di penetrare i suoi segreti meccanismi. ... Ogni volta che noi verificiamo le nostre teorie sull'intelligenza, l'apprendimento, e la comprensione, noi scopriamo interi mondi di possibilità che avevamo mancato in precedenza di considerare.

Sono dichiarazioni che suonano in qualche modo autocritiche nella riflessione di uno scienziato di IA già considerato esponente della linea forte, più cibernetica, della disciplina. Ma non è la sola revisione realistica.

Forse sono i primi segni di un'autocoscienza della avanzata maturità del paradigma della cibernetica, un paradigma che peraltro ha poco più di quarant'anni, perché introdotto, nelle prime comunicazioni

17. R.C. Shanck, *The Cognitive Computer ...*, cit., pp. 46-49, *passim*.

18. Cfr. J.R. Searle, *Menti, cervelli e programmi. Un dibattito sull'intelligenza artificiale*, a cura di G. Tonfoni, Clup-Clued, 1985, p. 173 ss

di Norbert Wiener, tra il 1943 e il 1948, e però reso sistematico, per il più vasto pubblico di studiosi tra cui anche sociologi, da W. Ross Ashby dieci anni dopo. (*An Introduction to Cybernetics* di W.R. Ashby è del 1956). Quando Norbert Wiener ed altri scienziati fisici e matematici lanciarono nel 1943 la cibernetica, come scienza del controllo e della comunicazione, ad un tempo, tra gli uomini, gli animali e le macchine, non immaginavano forse, sebbene avvertiti dalle fantasie profetiche di Turing, quale svolta avrebbero prodotto nella storia dell'umanità. Una rivoluzione culturale paragonabile a quella guttemberghiana. Una rivoluzione culturale favorita peraltro da trasformazioni imprevedibili nella base materiale computazionale. Ma è stato proprio il successo della cibernetica con l'ausilio di computer nel campo delle scienze fisiche e bioneurologiche, impegnate sul cervello e la visione degli uomini, a operare quella coscienza scientifica del distanziamento tra macchine e uomini che invece la cibernetica mirava a superare.

Sempre in riferimento all'interesse della teoria sociologica per le ricerche di IA, vi sono poi alcuni specifici campi che potrebbero essere meglio esaminati.

Uno di questi è il confronto fra la teoria della mente come sistema di *frame* in Minsky e le « provincie finite di significato » nel sociologo fenomenologo A. Schutz¹⁹.

Prima di John R. Searle, il sociologo Alfred Schutz aveva osservato che la scienza non può che limitarsi a un pensiero riflessivo su comunicazioni di senso comune, pur sapendo che vi sono comunicazioni intersoggettive più profonde; sempre per lo Schutz, le costruzioni simulative della scienza sociale, i tipi ideali, sono homunculi, come fantocci, che non potranno mai cogliere la pienezza di vita dell'umano comunicante. Decenni prima del dibattito fra Searle e i suoi critici (assertori della linea forte di IA), A. Schutz aveva detto che questi omuncoli anche se replicavano parte della struttura dei processi del pensiero e della comprensione del pensiero, anche se replicavano parte delle funzioni di quei processi erano sempre costruzioni diverse da quelle della comunicazione umana nel suo farsi.

Con ciò, anche il secondo requisito di Aaron Sloman e di Monica Croucher appare insufficiente alla piena omologazione di intelligenza umana e Intelligenza Artificiale²⁰.

19. Cfr. A. Schutz, *La fenomenologia del mondo sociale*, Il Mulino, Bologna, 1960, v. soprattutto la parte V.

20. Cfr. A. Sloman, M. Croucher, *Perché i robot potranno avere emozioni*, in M. Negrotti (a cura di), *Intelligenza artificiale e scienze sociali*, cit., pp. 104-124

8. Gli impatti sociali e le trasformazioni indotte nella vita produttiva e relazionale delle società, in riferimento alla diffusione dell'IA.

È questo il più noto ambito di ricerca per il sociologo, concernente gli impatti economico-socio-politici e socio-culturali delle cosiddette nuove tecnologie in genere e dell'IA in particolare. Tale approccio sociologico presenta almeno un duplice profilo:

8.1. L'informatica in genere e le innovazioni di IA in particolare, hanno – e si prevede che ancor più avranno – impatti sociali, manifesti e latenti, sulle società umane, sui rapporti fra Nord e Sud del mondo, sull'occupazione, sulla divisione del lavoro, sulla stratificazione sociale, su stili e modi di vita, sull'assetto del territorio quanto a rapporto fra residenze e luoghi di lavoro, ecc.; fenomeni e trasformazioni, persino a rilevanza antropologica, che occorre esaminare empiricamente e comprendere criticamente, anche per suggerire interventi correttivi su previsioni e ipotesi.

8.2. L'informatica in genere e l'IA in particolare, in un dato tempo e ambiente, non procede, però, come ogni innovazione, secondo modelli del tutto programmabili dalla parte sia della domanda che dell'offerta, oppure del tutto casuali. Anche qui, l'impatto fra innovazione sistemica e ambiente è a doppia contingenza, deve fare i conti con le morfologie e le dinamiche socio-culturali, e motivazionali, oltre che economiche e politiche, dell'ambiente in cui si cala. Perciò le differenziali modalità dell'impatto, viste dalla parte dell'ambiente umano e societario, sono ambiti importanti di ricerche, analizzabili e indagabili empiricamente, in chiave sociologica, come processi di *diffusione di innovazione*.

Vi sono, come in ogni processo del genere, degli strati della popolazione e delle singole persone che formano il nucleo dei pionieri seguiti dai primi adottanti. Oltre tali soglie minoritarie, la diffusione incontra resistenze anch'esse differenziabili secondo variabili proprie all'analisi sociologica, fino a vere e proprie soglie di impermeabilità, almeno per dati periodi.

Tale ambito di ricerca ha delle importanti ricadute possibili anche di tipo operativo.

Nell'uno come nell'altro approccio, o profilo, la materia è, però, già ora troppo vasta per essere analizzata con qualche completezza in questo saggio. Mi limiterò pertanto ad esplorare quelle che a mio avviso sono le principali e specifiche direzioni delle tematiche indicate.

9. Sebbene assai meno ponderoso – rispetto al tema più generale

dell'informatica – anche solo dal lato dell'apparato bibliografico, l'argomento degli impatti sociali che la diffusione dell'IA esercita e ancor più eserciterà sulla vita sociale è, già da qualche anno, un argomento di tematizzazione non privo di controversie.

Almeno dodici sono gli ambiti della vita produttiva e sociale in cui gli artefatti di IA hanno fatto o stanno per fare la loro comparsa e per i quali sono da vari anni stanziati ingenti finanziamenti nei capitoli di Ricerca e Sviluppo di bilanci nazionali e di grandi imprese.

9. 1. fabbriche automatizzate con robot non di prima generazione (incorporanti appunto applicazioni di IA; o fabbriche che producono merci con incluse applicazioni di IA;
9. 2. regolazioni di trasporti aerei, ferroviari, marittimi, urbani e applicazioni alla telematica in generale;
9. 3. automazione di banche, istituzioni finanziarie, per comunicazioni e scambi internazionali di informazioni, denaro, merci;
9. 4. automazione e selettività in altri uffici, specie uffici pubblici con compiti di raccolta e controllo di informazioni incrociate fiscali, di verifica bilanci;
9. 5. applicazioni alla ricerca scientifica universitaria e non, di base ed applicata, e all'educazione in genere;
9. 6. ricerca selettiva della documentazione scientifica e aziendale, con traduzioni più o meno automatizzabili da una lingua ad un'altra;
9. 7. impieghi nella difesa militare, e nei servizi informativi delle polizie, inclusa la formazione dei quadri tecnico-dirigenti più avanzati o più esposti a situazioni di rischio;
9. 8. supporti alla formazione e ai processi decisionali in numerose professioni anche in quelle tradizionalmente chiamate libere, a partire da quella sanitaria (con i sistemi esperti di IA) (sull'argomento, cfr. il mio saggio in questo volume);
9. 9. supporti per facilitare ricerche, inventari e controlli su beni archeologici, artistici e culturali;
- 9.10. supporti per ricerche geologiche e di altri giacimenti di risorse naturali, specie in ambienti inospiti per l'uomo;
- 9.11. impieghi creativi nell'arte figurativa e nella musica;
- 9.12. vi è poi la diffusa ma povera sperimentazione di programmi informatici con anche elementi di IA nel campo sociale, a favore di handicappati, (sordomuti, ciechi, ecc.), di minoranze etniche alle prese con l'apprendimento di lingue straniere, a favore di una maggiore informazione e comunicazione tra utenti di servizi pubblici.

Ma la rassegna non è certo esaustiva.

Purtroppo, le priorità nell'uso di computer in genere e nello sviluppo delle nuove tecnologie con applicazioni di IA in specie non sembrano essere favorevoli alle priorità dei bisogni di comunicazione per gli strati più deboli della popolazione. Anche se non mancano, come ho potuto accertare ad un recente convegno internazionale al politecnico di Brighton, ai primi di luglio del 1985 (un convegno dal titolo: *Artificial intelligence for society 1985*) le volontà di scienziati computazionali e di scienziati sociali di mettere le loro competenze sulle nuove tecnologie in genere, e sull'IA in specie, al servizio delle minoranze handicappate e sfavorite, o della creatività scientifica ed artistica, e non al servizio degli obiettivi militari.

Ma la più parte delle risorse connesse all'impiego delle nuove tecnologie si muove in direzione degli impieghi per profitto e per potenza militare, difensiva o meno.

10. Anche per ciò, il tema dell'impatto sociale dell'informatica in genere e dei programmi e degli strumenti dell'IA in particolare, è divenuto, come si diceva, argomento non privo di controversie.

La più nota delle quali – a mia notizia – è quella che ha visto l'anziano e autorevole professore di « computer science » all'MIT di Cambridge (Mass.), Joe Weizenbaum, reagire, con un suo libro del 1976 e poi con un articolo dell'ottobre del 1983, dalle colonne della « New York Review », agli entusiasmi scientifici a proposito di IA ²¹.

L'intervento polemico del prof. Weizenbaum è stato rivolto nei confronti della lobby dei cultori « forti » dell'IA in genere e di E. Feigenbaum e P. McCorduck, in particolare. I quali, E. Feigenbaum e P. McCorduck sono, come noto, gli autori del libro sulla sfida giapponese nel campo dell'intelligenza artificiale, col progetto di computer di quinta generazione ²².

L'argomento dell'impatto sociale dell'IA è anche un tema dibattuto in Gran Bretagna, soprattutto a partire da un volume del 1977 della prof. Margaret Boden, docente di filosofia e psicologia all'uni-

21. Il libro di J. Weizenbaum è *Computer Power and Human Reason: From Judgement to Calculation*, W.H. Freeman Publ., San Francisco, 1976. Si riferisce in particolare all'IA l'articolo del 1983 dello stesso autore: *The Myth of Artificial Intelligence*, « New York Review », 27 ott. 1983 ristampato in Tom Forester (ed.), *The Information Technology Revolution*, The MIT Press, Cambridge (Mass.), 1985, pp. 84-94

22. Cfr. E. Feigenbaum, P. McCorduck, *The Fifth Generation: Artificial Intelligence and Japan's Computer Challenge to the World*, Addison-Wesley, Reading (Mass.), 1983.

versità inglese del Sussex ²³.

Secondo J. Weizenbaum, l'esaltazione acritica dell'IA in specie, come dell'informatica in genere, è destinata ad avere negativi impatti sociali ed umani, sotto due profili: a) la deresponsabilizzazione dei ricercatori di IA quanto all'uso finale delle loro ricerche, molte delle quali già ora dipendenti da finanziamenti gestiti dal settore militare; b) la riduzione della discorsività interindividuale e sociale, a beneficio di quel rapporto isolante persona-macchina « intelligente » che già ora, a detta di Weizenbaum si avverte sia tra studenti che in campo medico. Campo quest'ultimo ove, negli Stati Uniti e altrove, sono comparsi i prodotti commerciali di IA, per autodiagnosi.

E in effetti, c'è il rischio di un paradosso al riguardo, anche se nell'ambito della quota relativamente ridotta di coloro che normalmente usano i computer e che si alimentano delle tematiche e prassi più varie ad essi connesse. È il paradosso, almeno apparente tra il crescere di una maggior capacità sistemica di comunicare e di trattare con le informazioni e con le decisioni informatizzate mentre al contempo avanza la solitudine involontaria, la semplificazione eccessiva nei rapporti interpersonali, l'impotenza ad amare l'altro da sé, la difficoltà ad uscire dalle varie fenomenologie psicologiche e antroposociali del narcisismo secondario ²⁴.

Aveva replicato a J. Weizenbaum anche il sociologo Daniel Bell criticandolo come relativista nella conoscenza scientifica e assolutista morale-culturale delle società ²⁵.

Più di recente, il dibattito pro e contro prevalenti impatti disumanizzanti e isolanti delle applicazioni dell'IA alla formazione come alla vita di relazione tra le persone umane, ha avuto svolgimenti anche in Gran Bretagna e di recente in Italia.

Si può dire che mentre la riflessione, la ricerca e il confronto, sugli impatti sociali dell'informatica in genere, sono stati e sono meritamente concentrati sulle conseguenze per l'occupazione, le garanzie democratiche della vita politica e l'organizzazione sociale collettiva in genere, l'IA ha prevalentemente suscitato dibattiti di tipo etico, educativo, antropologico-culturale, anche se con prevalente at-

23. Cfr. M. Boden, *The Social Impact of Thinking Machines*, « Futures », feb. 1984; ristampato in T. Forester (ed.), *The Information Technology Revolution*, cit., pp. 95-103

24. Cfr. in proposito, S. Turkle, *Il Secondo Io. Il computer e l'uomo: convivere, amarsi, capirsi*, cit.

25. D. Bell, *A Reply to Weizenbaum*, in M.L. Dertouzos, J. Moses, *The Computer Age: A Twenty-Year View*, The Mit Press, Cambridge (Mass.), 1981³, pp. 439-458; v. p. 458-462.

tenzione al nodo del rapporto uomo-macchina. Non a caso, uno dei temi del dibattito recente in Gran Bretagna e in Italia, è stato quello dei valori umani in un universo meccanicistico e della singolare vicenda per cui l'IA mentalizza le ricerche nelle scienze naturali e ingegneresche e meccanizza quelle nelle scienze sociali ed umane. Il rinvio è qui ai contributi dei professori universitari: S. Papert, P.C. Rogers, B. Whitby, K.S. Gill, di M. Yazdani e A. Narayanan, di A. Sloman e della citata M. Boden, per la Gran Bretagna e di L. Galino, M. Laeng, M. Negrotti, D. Bertasio e di chi scrive²⁶.

Per concludere, ma è una conclusione del tutto provvisoria, credo sia da evitare ogni dicotomia valutativa. Non ci collochiamo né tra i seguaci del mito persecutorio né tra quelli del mito onnipotente, a proposito dell'impatto presente e ancora più futuro dell'IA sulla vita sociale e sui valori umani.

Vedo piuttosto ambivalenze e paradossi – insieme a tanti effetti benefici – nelle fenomenologie sociali indotte dalla così permeativa e diffusiva penetrazione delle nuove tecnologie computazionali entro l'organizzazione sociale.

Effetti benefici indubbi dell'IA non possono essere ignorati in tutto il settore dell'assistenza socio-sanitaria, della ricerca di base e dell'educazione. Le nuove tecnologie possono portare benefici strumentali notevoli a persone anziane e ad handicappati, per favorirne la migliore comunicazione con il resto della società.

Si possono per contro indicare come esempi di dubbio uso, in termini coscienziali, dell'informatica di IA, la concentrazione di immense risorse di ingegni e di capitali su applicazioni militari, anziché per usi pacifici e perequativi, come su applicazioni industriali e di office automation, labor saving, con conseguente inoccupazione e disoccupazione, specie in certi paesi e per certe classi di età e non in altri; come su sistemi di controlli telematici di risorse nel mondo, tali da accentuare gli attuali squilibri tra Nord e Sud.

Lungi dal fermarci alle dicotomie, dobbiamo, dunque, di fronte a tale realtà, alzare il livello dell'analisi e della ricerca mirata, e della vigile comprensione.

26. Cfr la nota bibliografica finale

Bibliografia recente sull'impatto sociale e culturale dell'informatica

- A. Ardigò, *L'intelligenza artificiale come critica della ragion paradossale*, intervista a cura di Marco Merlini, «Politica ed economia», ott. 1985, pp. 25-27.
- A. Ardigò, *Un nuovo processo mimetico: le ricerche di «intelligenze artificiali»*. Interrogativi ed ipotesi di rilevanza, in *Intelligenza artificiale e scienze sociali*, a cura di M. Negrotti, Angeli, Milano, 1984, pp. 30-48.
- Aa.Vv., *Odissea informatica*, Jackson, Milano, 1984.
- R. Ayres, S. Miller, *Robotics, Application and Social Implication*, Bellinger Publ Co, Cambridge (Mass.), 1983.
- D. Bertasio, *Il potenziale evolutivo dell'informatica e la crisi del sistema scolastico*, «Sociologia», n. 1, 1983.
- D. Bertasio, *Educazione e intelligenza artificiale*, Licausi, Bologna, 1984.
- M. Boden, *Artificial Intelligence and Natural Man*, Basic Books, New York, 1977.
- M.L. Dertouzos, J. Moses, *The Computer Age: A Twenty-Year View*, The Mit Press, Cambridge (Mass.), 1981¹ È articolato in cinque parti. La prima: *Prospects for the Individual* (il computer nella casa, il computer e l'arte, e l'apprendimento, i computer e i governi). La seconda parte riguarda *Trends in traditional Computer uses* (negli affari, nella ricerca scientifica). La terza parte concerne: gli effetti e le attese socio-economiche (in relazione alla società dell'informazione, al decentramento e alla centralizzazione). La quarta parte riguarda le tendenze nelle tecnologie soggiacenti (l'hardware, le telecomunicazioni, il software sofisticato, e le ricerche di frontiera nella scienza computazionale). L'ultima parte comprende le critiche; quella di J. Weizenbaum e M.L. Dertouzos, con risposta a Weizenbaum da parte di Daniel Bell.
- T. Forester, *The Information Technology Revolution*, The Mit Press, Cambridge (Mass.), 1985
 Contiene una *Part two* dedicata all'*human interface* (con rif. ai computer nella scuola, nella casa, alla fabbrica automatizzata, all'ufficio del futuro, alle banche, negozi, ospedali). Contiene una 'terza parte' dedicata all'impatto sull'occupazione (quantità di lavoro), alla qualità del lavoro, all'organizzazione del lavoro tra management e sindacati. Contiene una quarta parte dal titolo: *Implications for society* che però si riferisce solo ai *social problems* (criminalità con i computer, la protezione dei dati, la politica elettronica), nonché *Global issues* e «parametri della società post-industriale».
- T. Forester, *The Microelectronic Revolution*, Blackwell publ., Oxford, 1980. Contiene anche uno scritto di H.A. Simon, *The Social Impact of Computers What Computers means for Man and Society*, pp. 419-433.
- D.R. Hofstadter, *Goedel, Escher, Bach: un'eterna ghirlanda brillante*, Adelphi, Milano, 1984.
- L. Gallino, *Mente, comportamento e intelligenza artificiale*, Comunità, Milano, 1984
- L. Gallino, *Era tecnologica e nuove norme. Morale del computer*, «La Stampa», 15 ott. 1985
- M. Langfelder, *L'informatica a domicilio*, Feltrinelli, Milano, 1983.
- R.W. Lawler, *Computer experience and cognitive development A Child's Learning in a Computer Culture*, Ellis Horwood, Chichester, Sussex, 1985.

- G.O. Longo (a cura di), *Intelligenza artificiale*, « Le scienze/quaderni », set. 1985
 Contiene articoli di H. Berliner, A.T.K. Dewdney, D.R. Hofstadter, D.B. Lenat, R. Pieraccini, S. Sandri, T. Poggio, D.L. Waltz, T. Winogradov
- M. Losano, *L'informatica per le scienze sociali*, Einaudi, Torino, 1985.
- G. Martinotti, *L'informatica domestica*, in *Tecnologia domani*, a cura di A. Ruberti, Laterza-Seat, Bari, 1985.
- D. Michie, R. Johnston, *The knowledge machine. A.I. and the future of man*, W. Morrow & Co., New York, 1985.
- M. Negrotti (a cura di), *Intelligenza artificiale e scienze sociali*, Angeli, Milano, 1984.
 Il volume contiene scritti di A. Ardigò, M. Borillo, M. Crouche, L. Galilino, F. Gardin, M. Negrotti, A. Scivoletto, A. Sloman, V. Tagliascio.
- M. Negrotti, *Cibernetica dei sistemi sociali. Stabilità e mutamenti*, Angeli, Milano, 1984.
- M. Negrotti con D. Bertasio (a cura di), *La forma e il futuro. Informatica e processi culturali*, saggi di M. Borillo, W. Skywington, Y. Stoudzè, M. Draganescu, A. Norman, Angeli, Milano, 1982
- D. Noble, *Accelerazione tecnologica e processo educativo*, « Servizio di informazioni avio », n. 7-8, lug.-ago. 1984.
- S. Nora, A. Minc, *L'informatisation de la société*, La documentation française, Paris, 1978.
- R. Onellette e al., *Automation Impacts on Industry*, Ann Arbor, Science Publ., Ann Arbor, 1983
- T. O'Shea, M. Eisenstadt (a cura di), *Artificial Intelligence, Tools, Techniques and Applications*, Harper Row Publ., New York, 1984
- S. Papert, *Mindstorms, Children, Computers, and Powerful Ideas*, Basic Books, New York, 1980
- A. Ruberti (a cura di), *Tecnologia domani. Utopie differite e transizioni in atto*, Laterza-Seat, Bari, 1985.
 Contiene contributi di G. Degli Antoni, E. De Grada, P. Ercoli, B. Lamborghini, M.G. Losano, P. Maggiolini, F. Momigliano, G. Martinotti, P. Rossi, B. Secchi.
- J.R. Searle, *Menti, cervelli e programmi. Un dibattito sull'intelligenza artificiale*, a cura di G. Tonfoni, Clup Clued, Milano, 1984.
- A. Sloman, *The Computer Revolution in Philosophy*, Harvester ed., Brighton (G B.), 1979.
- M. Sharples, *Cognition, Computers and Creative Writing*, Ellis Hordwood, Chichester, Sussex, 1985.
 M. Sharples insegna alla Scuola di scienze sociali dell'Università del Sussex (G B.). Il libro analizza lo scrivere creativo come un processo cognitivo e descrive uno schema d'insegnamento per il creative writing basato su un'analisi dettagliata dello sviluppo cognitivo e linguistico dei bambini. Tale schema, testato su bambini dai 6 agli 11 anni, durante una sessione di nove mesi riflette i cambiamenti nel processo dello scrivere dei bambini, i loro atteggiamenti verso lo schema e le loro interrelazioni con il computer.
- S. Torrance (a cura di), *The Mind and the Machine-Philosophical Aspects of Artificial Intelligence*, Ellis Horwood, Chichester, 1984.
- S. Turkle, *Il Secondo Io. Il computer e l'uomo: convivere, amarsi, capirsi*, Frassinelli, Milano, 1985.

- M. Yazdani (ed), *New Horizons in Educational Computing*, Ellis Horwood, Chichester, Sussex, 1984.
Dopo un'introduzione sull'intelligenza artificiale e l'educazione, seguono una serie di articoli e saggi raggruppati nelle parti seguenti: parte 1, *Il mondo del Logo*; parte 2, *Il fenomeno Prolog*; parte 3, *L'esperienza Pop-11*.
- M. Yazdani, A. Narayanan, *Artificial Intelligence: Human Effects*. Ellis Horwood Ltd., Chichester, (G.B.), 1984.
È un'esame circa lo stato dell'arte concentrato sulla mente e i robot, sulle implicazioni per il sistema legale inglese, su quello medico, e sull'educazione. Una sezione finale è dedicata a passare in rassegna gli effetti sociali del computer.
- G. Zanarini, *L'emozione di pensare Psicologia dell'informatica*, Clup-Clued, Milano, 1985
- T. Winograd, *Language as a Cognitive Process*, vol 1, Syntax Addison-Wesley publ. Co., Amsterdam, 1982

Parte prima

1. METODI E PROBLEMI NELLA RAPPRESENTAZIONE DELLA CONOSCENZA

di Paola Mello

1. Introduzione

Negli ultimi anni l'enfasi nello studio e nello sviluppo di sistemi di Intelligenza Artificiale si è spostata dallo studio delle capacità inferenziali dei sistemi definiti « intelligenti », allo studio, interdisciplinare, della conoscenza che tali sistemi devono descrivere, rappresentare, elaborare e modificare.

Si è in pratica riconosciuto che: « la potenza di un programma intelligente nel risolvere un problema dipende primariamente dalla quantità e qualità di conoscenze che possiede su tale problema » (Barr, Feigenbaum, 1981), piuttosto che da capacità inferenziali assolutamente generali. In questo senso si parla di *sistemi basati sulla conoscenza*. Che per risolvere un problema occorra conoscenza è sicuramente un fatto risaputo: un programma tradizionale racchiude, all'interno dell'algoritmo che lo risolve una specifica conoscenza sul problema per cui è stato scritto e lo stesso discorso vale per le basi di dati, che contengono una conoscenza estensiva di fatti e dati su un particolare dominio.

Ciò nonostante quella espressa nei sistemi basati sulla conoscenza è un'idea più generale di conoscenza rispetto a quella normalmente utilizzata nei campi precedentemente citati.

Un programma di Intelligenza Artificiale, normalmente, non è costruito in base ad una conoscenza precisa e dettagliata sul problema che deve risolvere e di cui il codice costituisce la soluzione ottimale ed immutabile: se così fosse tale sistema sarebbe facilmente esprimibile come un algoritmo. D'altro canto un sistema di Intelligenza Artificiale non è neppure una base piatta di conoscenza su entità di un particolare dominio, senza alcuna capacità autonoma di utilizzo in-

1. METODI E PROBLEMI NELLA RAPPRESENTAZIONE DELLA CONOSCENZA

di Paola Mello

1. Introduzione

Negli ultimi anni l'enfasi nello studio e nello sviluppo di sistemi di Intelligenza Artificiale si è spostata dallo studio delle capacità inferenziali dei sistemi definiti « intelligenti », allo studio, interdisciplinare, della conoscenza che tali sistemi devono descrivere, rappresentare, elaborare e modificare.

Si è in pratica riconosciuto che: « la potenza di un programma intelligente nel risolvere un problema dipende primariamente dalla quantità e qualità di conoscenze che possiede su tale problema » (Barr, Feigenbaum, 1981), piuttosto che da capacità inferenziali assolutamente generali. In questo senso si parla di *sistemi basati sulla conoscenza*. Che per risolvere un problema occorra conoscenza è sicuramente un fatto risaputo: un programma tradizionale racchiude, all'interno dell'algoritmo che lo risolve una specifica conoscenza sul problema per cui è stato scritto e lo stesso discorso vale per le basi di dati, che contengono una conoscenza estensiva di fatti e dati su un particolare dominio.

Ciò nonostante quella espressa nei sistemi basati sulla conoscenza è un'idea più generale di conoscenza rispetto a quella normalmente utilizzata nei campi precedentemente citati.

Un programma di Intelligenza Artificiale, normalmente, non è costruito in base ad una conoscenza precisa e dettagliata sul problema che deve risolvere e di cui il codice costituisce la soluzione ottimale ed immutabile: se così fosse tale sistema sarebbe facilmente esprimibile come un algoritmo. D'altro canto un sistema di Intelligenza Artificiale non è neppure una base piatta di conoscenza su entità di un particolare dominio, senza alcuna capacità autonoma di utilizzo in-

telligente ed inferenza su tale base fattuale, come una tradizionale base di dati.

Di fatto, un sistema di Intelligenza Artificiale deve essere in grado di risolvere non solo uno, ma un insieme di problemi in un certo ambito applicativo; la soluzione a tali problemi non può essere data univocamente e staticamente, ma deve essere generata dinamicamente, esaminando un largo numero di possibilità, proprio perché la conoscenza che si possiede al riguardo è vasta, complessa, irregolare, incompleta, normalmente empirica e non inquadrabile in precisi modelli formali. Per questi motivi tale conoscenza è molto più generale rispetto a quella contenuta nelle basi di dati tradizionali che enfatizzano maggiormente problemi di accesso e manutenzione dei dati, piuttosto che le capacità inferenziali.

Da queste considerazioni, che si potrebbero interpretare come « specifiche » per la progettazione di tali sistemi, scaturiscono tutta una serie di conseguenze che saranno alla base della seguente discussione, che non pretende certo di essere esaustiva. In particolare, le problematiche discusse, pur potendo essere inquadrare in un ambito più generale, sono ristrette al campo applicativo dei sistemi esperti.

1.1. *Organizzazione architetturale: un possibile schema*

Definiremo sistema basato sulla conoscenza (Knowledge Based System KBS), un sistema che utilizza *esplicitamente* della conoscenza specifica e, normalmente, empirica, per costruire, dinamicamente, la soluzione ad un particolare problema. In particolare un sistema esperto è un KBS il cui dominio di applicazione è quello di un esperto umano in un determinato settore. Utilizzare esplicitamente della conoscenza implica una diversa organizzazione architetturale di KBS rispetto ad un programma tradizionale.

Di fatto un KBS risulta composto da due blocchi che, normalmente, dovrebbero essere mantenuti distinti, perché rappresentano due conoscenze di tipo diverso: la base di conoscenza sul dominio dell'applicazione (*database*) e la conoscenza su come utilizzare l'informazione sul dominio (*controllo* o *conoscenza strategica*).

Mentre in un programma tradizionale il controllo è univocamente determinato nella codifica delle procedure e dunque frammischiato alla base di conoscenza, in un KBS il controllo è un modulo che, concettualmente, può essere tenuto separato rispetto alla base di conoscenza sul dominio, garantendo al sistema maggiore strutturazione, flessibilità e modificabilità.

In questo modo si può, teoricamente, mantenere inalterata la conoscenza sul dominio e cambiare il controllo per accrescere l'efficienza del sistema, o vice-versa, mantenere inalterato il controllo e modificare la base di conoscenza, ottenendo così sistemi esperti che lavorano in differenti campi applicativi. Su quest'ultimo principio sono costruiti molti ambienti per lo sviluppo di sistemi esperti. Infatti, ad esempio, KAS (Hay e al., 1983) è stato ottenuto da Prospector (Duda e al., 1979), Emycin (van Melle e al., 1981) da Mycin (Shorliffe, 1976).

Potremmo, a questo proposito, assimilare un sistema basato sulla conoscenza più ad un ambiente di programmazione in cui rappresentare, utilizzare, modificare una complessa base di conoscenze che ad un programma. Seguendo questa linea interpretativa, ne segue che requisiti quali estendibilità, modificabilità tipici degli ambienti di programmazione moderni, diventano specifiche così irrinunciabili da dettare l'architettura di base descritta precedentemente. Ciò non toglie, comunque, che tali principi architettonici risultino spesso di difficile attuazione in sistemi basati sulla conoscenza di una certa complessità per cui, molto spesso, alcune informazioni di controllo risultano inserite nella base di conoscenza sul dominio.

1.2. *La rappresentazione della conoscenza sul dominio*

1.2.1. *Quale conoscenza rappresentare?*

La conoscenza da rappresentare in un sistema basato sulla conoscenza è estremamente varia e di difficile classificazione essendo dipendente in massima parte dal dominio di applicazione del sistema stesso.

Una buona rappresentazione della conoscenza dovrebbe essere teoricamente abbastanza generale da riuscire ad esprimere tutti i tipi di conoscenza necessari per costruire un sistema soddisfacente.

A tale scopo, una classificazione schematica della conoscenza che è necessario rappresentare in un KBS è quella presentata in Hayes-Roth, 1984. Secondo tale classificazione i possibili aspetti della conoscenza sono tre:

- a. *Estensione: conoscenza generale e conoscenza specifica.* Normalmente si ha la necessità sia di esprimere delle conoscenze che valgono per tutte le entità del dominio (cioè generali: ad esempio « tutti gli uomini sono mortali ») ovvero che valgono per una sola entità (cioè specifiche: ad esempio « Mario è uno studente »). Nella realtà però dovremmo riuscire ad esprimere anche tutti i gradi intermedi, che stanno fra l'assolutamente generale e il

più specifico. Ad esempio vorremmo essere in grado di parlare di « alcune », « molte », « poche » entità che godono di certe proprietà, oppure di esprimere delle conoscenze abbastanza generali che coinvolgano tutte o certe entità, fino a che di alcune non si stabilisca una conoscenza di tipo diverso anche, al limite, contraddittoria rispetto a quella precedentemente inferita. È il caso, questo, della conoscenza a « default ».

- b. *Validità: conoscenza certa e conoscenza incerta.* Se il campo di applicazione del KBS è ampio e complesso, risulta particolarmente difficile poter esprimere su di esso della conoscenza assolutamente « certa ». Un tipico caso in cui ciò non è possibile, è quello di molti sistemi esperti utilizzati nel campo della diagnosi medica e nella diagnostica in generale. In tali situazioni il metodo di rappresentazione della conoscenza utilizzato dovrebbe essere in grado di assegnare dei gradi di certezza alle conoscenze espresse, e durante l'elaborazione della conoscenza, nel tentativo di trovare una soluzione ad un particolare problema, tali gradi di certezza dovrebbero essere tenuti in considerazione. In questo modo sarebbe possibile esprimere conoscenze del tipo: « sono quasi certo che il paziente è affetto da meningite », « con un basso grado di probabilità esiste un giacimento petrolifero », ecc.
- c. *Utilizzo: conoscenza dichiarativa o procedurale.* Risulta abbastanza difficile, se non in modo intuitivo, definire la differenza fra conoscenza dichiarativa e procedurale. Scrive Sowa in (Sowa, 1984): « l'approccio procedurale assume che la conoscenza è un insieme di procedure attive che interpretano l'ambiente ed operano su di esso » ... « l'approccio dichiarativo assume che la conoscenza è una collezione di asserzioni che possono essere espresse con formule logiche o reti semantiche ».

Normalmente per conoscenza dichiarativa (o descrittiva) si intende una conoscenza che esprime « cosa » conosce senza preoccuparsi di specificare « come » tale conoscenza debba essere effettivamente utilizzata. In questo senso è priva di qualunque informazione di controllo esplicita. Come caso estremo una spirale potrebbe essere rappresentata in modo dichiarativo mediante una lista di punti del piano per cui passa e proceduralmente mediante un programma che la traccia graficamente.

Tipica conoscenza dichiarativa è quella contenuta in un database relazionale sotto forma di tuple del tipo: personale (Rossi, Ufficio-tasse, 23/1/45) che descrive un'istanza della relazione personale i cui attributi sono nome, ufficio, data di nascita nell'ordine.

La conoscenza dichiarativa non è però solo limitata alla defini-

zione di fatti, può anche essere utilizzata per esprimere relazioni più complesse fra entità. Ad esempio si può definire il risultato dell'ordinamento di una lista con le seguenti dichiarazioni:

- a. il risultato dell'ordinamento di una lista vuota è una lista vuota;
- b. il risultato dell'ordinamento di una lista L è la lista L' se la lista L' è ordinata ed è il risultato di una permutazione della lista L . Inoltre potrebbero essere definiti, sempre in modo dichiarativo, le conoscenze sulla permutazione di una lista e di cosa si intenda per lista ordinata.

Analogamente la conoscenza sull'ordinamento potrebbe essere anche descritta in modo procedurale o prescrittivo nel qual caso sarebbero descritte le effettive azioni che devono essere svolte per eseguire l'ordinamento di una lista. Ad esempio:

- a. controlla per prima cosa se la lista è vuota: se sì dà come risultato la lista vuota;
- b. altrimenti calcola una permutazione della lista L non ordinata e controlla se è ordinata; se sì termina, altrimenti cerca un'altra permutazione e ricomincia.

Tipica conoscenza procedurale sono ad esempio le procedure di ricerca, accesso, modifica di un database relazionale.

Come risultata anche dal precedente esempio l'approccio dichiarativo sembra essere generale, più chiaro e meno ridondante. Infatti, esprimendo in modo dichiarativo una conoscenza generale sull'ordinamento delle liste, tale conoscenza potrebbe essere utilizzata non solo per trovare la lista ordinata partendo da una qualunque lista, ma anche per controllare, date due liste L e L' , se una corrisponde all'ordinamento della precedente, o data una lista ordinata, per generare possibili liste non ordinate di partenza.

L'approccio procedurale è sicuramente meno generale, poiché esprime un ben preciso algoritmo, ma, in molti casi più efficiente e naturale.

Infatti mentre l'approccio procedurale indica, mediante precisa descrizione delle azioni, che prima deve essere calcolata la permutazione della lista e poi controllare che essa sia ordinata, teoricamente nessuna informazione di « controllo » è inserita nella pura conoscenza dichiarativa. Questo fa sì che l'ordinamento della lista possa essere ottenuto, in modo equivalente, ma sicuramente discutibile per quello che riguarda l'efficienza, generando senza alcun criterio liste ordinate e controllando poi se esse risultino essere permutazioni della lista di partenza.

In pratica, quindi, ognuno dei due approcci è più adatto per esprimere un certo tipo di conoscenza. Generalmente, in un KBS si espri-

merà la conoscenza sul domino del problema in modo dichiarativo, mentre la conoscenza su come utilizzare la conoscenza sul dominio (controllo) in modo procedurale.

1 2.2. *Come rappresentare la conoscenza sul dominio*

Definiamo *rappresentazione della conoscenza* un insieme di convenzioni per descrivere un certo tipo di conoscenza. È evidente che una buona rappresentazione della conoscenza può facilitare la soluzione di un problema riducendone notevolmente la complessità.

Il problema della rappresentazione della conoscenza è un problema molto generale, che coinvolge, oltre al campo dell'Intelligenza Artificiale, altre discipline quali quelle dei linguaggi di programmazione ed i database. Limiteremo in questo lavoro, la nostra attenzione solo al campo applicativo dei sistemi basati sulla conoscenza con particolare riferimento ai sistemi esperti.

Per quello che riguarda la rappresentazione della conoscenza in Intelligenza Artificiale va chiarito che non esiste una precisa teoria sulla rappresentazione della conoscenza o un modello uniforme a cui ispirarsi, proprio perché ancora oggi l'Intelligenza Artificiale è una scienza empirica, da cui solo ultimamente, si sta cercando di estrarre alcuni principi guida. Molto spesso non esiste neppure accordo sulla terminologia che viene utilizzata e, normalmente, l'interazione con discipline con problematiche affini è molto difficile.

Si ritiene, comunque, che requisiti essenziali per classificare una buona rappresentazione della conoscenza possano essere (IEEE Computer, 1983):

- a. *potenza espressiva*: cioè capacità di esprimere in modo completo vari domini di conoscenza con differenti caratteristiche;
- b. *facile comprensione della notazione*;
- c. *efficienza*: cioè capacità di strutturare la conoscenza in modo che ne venga facilitato l'utilizzo e l'accesso durante la risoluzione del problema evitando ridondanze;
- d. *flessibilità, modificabilità, estensibilità*: che costituiscono caratteristiche essenziali per una base di conoscenza che possa evolvere dinamicamente.

2. **Metodi di rappresentazione della conoscenza classici: un tentativo di classificazione**

I metodi di rappresentazione della conoscenza proposti e sviluppati sono nati in modo empirico a seconda delle esigenze del dominio

di applicazione, per cui risulta abbastanza difficile una loro classificazione. Schematicamente i metodi di rappresentazione classici possono essere così suddivisi:

- a. logica dei predicati del primo ordine;
- b. regole di produzione;
- c. reti semantiche;
- d. frames.

2.1. *La logica dei predicati*

Utilizzare la logica dei predicati (Mendelson, 1964), in particolare la logica dei predicati del primo ordine, come metodo di rappresentazione della conoscenza ha il vantaggio di essere sicuramente un approccio semanticamente ben definito, altamente dichiarativo e con un apparato assolutamente generale.

Si assume, in pratica, che la base di conoscenza che si vuole rappresentare è una collezione di *asserzioni della logica dei predicati del primo ordine* e, utilizzando *regole di inferenza* si possono *dedurre* nuove asserzioni (teoremi) non esplicitamente contenute nella base di conoscenza iniziale.

La sequenza di regole di inferenza utilizzate nella derivazione del teorema viene detta *prova* del teorema.

Ad esempio per esprimere la conoscenza: « Giovanni dà un libro a Maria » si può utilizzare una formula della logica dei predicati del tipo:

dare (Giovanni, Maria, libro)

oppure:

evento 1 (dare, Giovanni, Maria, libro)

Mentre per esprimere la frase « tutti i cani hanno quattro zampe »:

$\forall X$ [cane (X) \rightarrow ha-zampe (4,X)]

Se poi si aggiunge alle asserzioni « Fred è un cane »:

cane (Fred)

si può chiedere al sistema di deduzione di dimostrare « quante zampe ha Fred », ovvero se esiste un Y tale che « Fred ha Y zampe »:

goal: $\exists Y$ [ha-zampe (Y, Fred)]

In questo caso il sistema di deduzione, utilizzando opportune regole di inferenza (ad esempio il principio di risoluzione (Robinson, 1965) è in grado di dimostrare il precedente goal con $Y=4$.

2.1.1. *Problematiche della rappresentazione mediante la logica dei predicati del primo ordine*

La prima critica che potrebbe essere rivolta al metodo di rappresentazione logico è di tipo generale: probabilmente le formule ed i metodi di deduzione logici non sono il modo più naturale con cui ragionare e non sono i metodi con cui l'uomo organizza la sua conoscenza e mostra un comportamento intelligente. Scrive M. Minsky al riguardo:

Many AI workers have continued to pursue the use of logic to solve problems. This has'nt worked very well, in my opinion; logical reasoning is more appropriate for displaying or confirming the results of thinking than for thinking itself. That is, I suspect to use it less for solving problems than we use it for explaining the solution to other people and, much more important, to ourselves.

Al di là di questa critica di base, che mette in discussione da un lato la naturalezza della notazione e dall'altro la potenza espressiva del formalismo logico, si possono individuare problemi più specifici ed evidenti; tali problemi, di cui si darà in seguito una breve panoramica, hanno portato, da un lato, allo sviluppo di logiche «non standard» (Turner, 1984), dall'altro al più drastico abbandono dal formalismo logico per metodi di rappresentazione alternativi.

Schematicamente tali approcci possono essere così suddivisi:

- a. *dentro la logica*: l'obiettivo è di sviluppare logiche differenti (« non standard ») rispetto alla logica classica che ne mantengano però intatta la purezza semantica. In questo filone possono essere inquadrati due differenti tipi di proposte: quelle che tendono a estendere la logica classica e quelle che tendono a costruirne una « rivale ».

I sistemi « rivali » di logica non differiscono dalla logica classica proposizionale o del calcolo dei predicati nei termini del linguaggio utilizzato, ma piuttosto nel fatto che certi teoremi della logica classica sono resi falsi. La logica intuizionistica (Turner, 1984) e la logica fuzzy (Zadeh, 1975) fanno parte di questo primo gruppo.

Al contrario le estensioni alla logica classica mantengono tutti i suoi teoremi, ma la estendono in due modi: 1) arricchendone il

vocabolario. Ad esempio la logica modale (Zeman, 1973) è arricchita mediante l'utilizzo di due nuovi operatori « L » (è necessario che) e « M » (è possibile che); 2) aggiungendo nuovi assiomi e regole di inferenza che coinvolgono i nuovi operatori aggiunti (ad esempio in logica modale $A \rightarrow MA$ cioè « la verità di A implica la necessità di A ») e che quindi permettono la derivazione di teoremi non esprimibili in logica classica.

- b. *fuori della logica*: sono stati sviluppati approcci completamente alternativi rispetto a quello logico, con linguaggi « ad hoc » per rappresentare certi tipi di conoscenza, guadagnando in semplicità e potere espressivo, ma perdendo, a volte, in purezza formale. Tali approcci sono quelli di cui parleremo nei paragrafi 2.2, 2.3, 2.4.

Elenchiamo alcuni problemi caratteristici nell'utilizzo della logica in Intelligenza Artificiale

a. *Il problema della monotonicità e del default*

La logica classica è *monotona*; l'aggiunta di nuove asserzioni o regole alla base di conoscenza non può invalidare teoremi precedentemente dimostrati, ma solo aggiungerne di nuovi.

L'assioma di monotonicità afferma infatti che i teoremi di una teoria sono sempre un sottoinsieme dei teoremi della teoria estesa.

Il problema nasce dal fatto che la realtà che vogliamo modellare e dunque la conoscenza che vogliamo esprimere non è monotona; spesso l'acquisizione di nuovi fatti mette in discussione ciò che era precedentemente ritenuto veritiero.

Un tipico esempio di conoscenza non monotona è la soluzione di problemi che richiedono la pianificazione di azioni che determinano un cambiamento di stato: tale problema in Intelligenza Artificiale è detto *Frame Problem* (Nilsson, 1980). Se abbiamo una determinata rappresentazione del mondo in un certo istante, basata su osservazioni e su conoscenza a priori, come dovrebbero essere utilizzate e rappresentate nuove conoscenze acquisite, per modificare il modello di conoscenza precedente, affinché possa rappresentare il mondo negli istanti futuri? Anche se tale problema è risolvibile anche all'interno della logica classica, (Kowalski, 1979), la notazione si complica notevolmente e dunque il suo utilizzo diviene, a mio avviso, abbastanza critico in problemi di una certa complessità.

In questo tipo di problematica rientra anche il concetto di *default* (Reiter, 1980) che dovrebbe permettere di dedurre un certo tipo di teoremi fino a che non viene, al riguardo, affermato esplicitamente qualcosa di contrario.

Per risolvere il problema della monotonicità della logica dei pre-

dicati classica sono state proposte diverse estensioni.

Ad esempio in (Mc Dermott, Doyle, 1980) viene proposta un tipo di logica non-monotona che prevede l'utilizzo di un particolare meta-operatore « M » che viene chiamato operatore di consistenza. In tale formalismo conoscenze a default sono facilmente espresse mediante tale operatore. Un altro approccio è quello di introdurre un meta-livello e di permettere l'*amalgamation* (Bowen, Kowalski, 1982) di livello meta e oggetto in un'unica teoria.

b. *Il problema della incertezza della conoscenza ed il problema dei quantificatori*

Nella logica classica i quantificatori sono due: universale ed esistenziale. Nella realtà si quantifica anche con parole del tipo: molti, pochi, abbastanza e sarebbe molto importante poterle esprimere nel loro effettivo significato. Inoltre normalmente la conoscenza può essere incerta e fra i due estremi di completa verità e completa falsità permessi dalla logica classica esistono un insieme di sfumature: è probabile, è vero con una certa probabilità, ecc. Gran parte dei sistemi esperti devono però essere in grado di fare inferenze anche in presenza di conoscenza incerta o incompleta.

Per risolvere tale problema sono stati adottati approcci ad hoc Mycin (Shortliffe, 1976), Prospector (Duda e al., 1979). Uno dei primi approcci utilizzati per essere in grado di ragionare anche in presenza di incertezza è stato quello incorporato in Mycin.

In tale sistema esperto, viene introdotta la nozione di « implicazione approssimata » utilizzando numeri che vengono chiamati « fattori di certezza ». L'approccio di Mycin viene normalmente criticato perché molto specifico e di difficile comprensione.

c. *Il problema della rappresentazione di conoscenze temporali*

La logica classica presenta alcune difficoltà nell'esprimere frasi che contengono verbi coniugati con vari tempi o espliciti riferimenti al tempo, anche se la modellazione del tempo è un problema centrale in Intelligenza Artificiale. Si è ancora però molto lontani da una effettiva soluzione a tale problema.

Rimanendo nell'ambito dei metodi di rappresentazione logica, la logica temporale (Turner, 1984) cerca di estendere la logica classica permettendo che una stessa sentenza possa avere differenti valori di verità in differenti istanti di tempo.

d. *Il problema dell'esplosione combinatoriale*

Proprio perché l'apparato deduttivo della logica dei predicati è estremamente generale, tende a produrre una pericolosa esplosione combinatoriale se non viene opportunamente controllato (anche i sistemi che utilizzano come unica regola di inferenza il principio di

risoluzione tendono ad avere tale inconveniente).

Risulta comunque molto complesso inserire in un ambito puramente logico informazioni di controllo. Tale problematica è comune anche ai linguaggi di programmazione logica. In tale ambito la soluzione proposta dal linguaggio Prolog (Clocksin, Mellish, 1981) è quella di introdurre due modi diversi per influenzare le scelte dell'interprete:

1. un modo implicito mediante l'ordine con cui i programmi logici sono scritti;
2. un modo esplicito mediante l'introduzione di predicati predefiniti extralogici (ad esempio fail) o particolari notazioni (ad esempio cut « ! ») che però ne vanno ad intaccare la semantica dichiarativa.

Malgrado tali notazioni, però, esprimere informazioni di controllo sufficientemente generali ed espressive nell'ambito della logica rimane ancora un problema. Le proposte più promettenti a tale livello introducono meta-conoscenza per influenzare le strategie di controllo dell'interprete base.

e. *Il problema della mancanza di strutturazione nella base di conoscenza*

La logica classica vede la base di conoscenza (asserzioni) come qualcosa di unico e non strutturato, mentre sarebbe utile poter partizionare la base di conoscenza in teorie separate che possano condividere o ereditare fra loro delle proprietà, o avere anche fra di loro visioni o conoscenze diverse e contraddittorie.

Inoltre, nella maggior parte dei sistemi di Intelligenza Artificiale la conoscenza è incompleta e dunque risulta criticabile (Hewitt, De Jong, 1981) la assunzione di « mondo chiuso » normalmente adottata nei database. Secondo questa ipotesi semplificativa, presente anche nel linguaggio *Prolog*, tutto ciò che non è direttamente deducibile dalle asserzioni nella teoria risulta automaticamente falso. Al contrario potrebbe essere adottata una ipotesi più debole di falsità, intendendo falsa una formula logica solo se introduce una contraddizione nella base di asserzioni. Di una formula logica non deducibile da un insieme di asserzioni (ma non effettivamente falsa) può essere dunque chiesta la dimostrazione al altre basi di conoscenza in modo simile a quello modellato negli *open systems* (Hewitt, De Jong, 1981).

Concludendo questa schematica panoramica sulle problematiche legate alla logica, quando la si vuole utilizzare come metodo di rappresentazione, è importante sottolineare che nessuna delle logiche « non standard » precedentemente citate viene oggi utilizzata in larga scala nello sviluppo di sistemi di Intelligenza Artificiale ed in particolare di sistemi esperti. Malgrado ciò la loro importanza è enorme poiché

esse tentano di fornire strumenti generali e formali per lo sviluppo di teorie e modelli di rappresentazione della conoscenza.

2.2. Le regole di produzione

Questo metodo di rappresentazione è quello che viene maggiormente adottato nei sistemi che devono esprimere la conoscenza mediante regole euristiche ed empiriche; in particolare, dunque, è il metodo di rappresentazione maggiormente adottato nei sistemi esperti (Clancey, 1983; Hayes-Roth e al., 1983; Nau, 1983) che esprimono mediante regole euristiche la tipica conoscenza di un esperto in un particolare campo applicativo.

In un sistema basato sulla conoscenza che utilizza tale metodo di rappresentazione, la base di conoscenza è una collezione di fatti e regole di produzione.

Esse hanno la forma:

if (antecedente), *then* (conseguente)

dove la forma dell'antecedente dipende dal tipo di regola di produzione adottata, ma normalmente risulta essere una combinazione di condizioni effettuata mediante connettivi logici OR e AND. Tale condizione deve essere verificata nel database di fatti globale affinché la regola di produzione possa essere applicabile.

Ad esempio:

- a. IF temp (acqua) > 30 THEN attiva-procedura-emergenza;
- b. IF batteria (scarica) OR benzina (mancante) THEN vettura (non-parte);
- c. IF solleva (? blocco) AND *unk* (peso (? blocco, ? p1)) THEN *ask* (peso (? blocco, ? p1))

sono tutte regole di produzione (anche se la sintassi è stata volutamente semplificata). La regola di produzione a) ha un solo antecedente ed un solo conseguente; la regola b) presenta come antecedente un OR di condizioni; la regola c) ha come antecedente un AND di condizioni.

La strutturazione di un sistema di produzione prevede la presenza di una memoria in cui sono inserite le regole di produzione (*memoria di produzione*); una memoria (*memoria di lavoro*) che contiene le conoscenze globali dei fatti o dei goals e che varia dinamicamente all'atto dell'esecuzione delle regole ed un interprete (o *controllo*) del sistema di produzione, che decide dinamicamente come applicare le regole di produzione in base al contenuto della memoria di lavoro per generare la soluzione.

Se confrontate con linguaggi tradizionali le regole di produzione presentano caratteristiche molto dichiarative; infatti non specificano normalmente un flusso computazionale nella loro definizione; il controllo è un modulo concettualmente separato da esse. Se confrontate, però, col puro formalismo logico presentano anche un significato tipicamente procedurale. Infatti, gli antecedenti ed i conseguenti possono essere procedure che, quando vengono eseguite, vanno ad agire attivamente sul database di fatti e lo possono modificare. Riferendoci all'esempio, i termini *unk* e *ask* non hanno nessun significato dichiarativo: sono procedure che vengono valutate al momento opportuno e sono tipicamente scritte in un linguaggio procedurale.

Il meccanismo con cui si verifica se una regola di produzione può essere applicabile viene normalmente chiamato *pattern-matching*. Anche se il suo modo di operare è dipendente dal linguaggio con cui si possono esprimere i fatti e le regole (Brownston e al., 1985), il suo meccanismo base consiste nell'andare a verificare se l'antecedente della regola (in caso di organizzazione del sistema forward: Nilsson, 1980) trova qualcosa che coincide nella memoria di lavoro. Normalmente gli elementi contenuti nella memoria di lavoro, che sono sintatticamente e formalmente simili agli antecedenti delle regole, contengono solo costanti, mentre gli antecedenti delle regole possono contenere anche variabili.

Ad esempio la regola a) sarà applicabile se nella memoria di lavoro è presente un elemento che descrive la temperatura dell'acqua e che è maggiore di 30. In questo caso le variabili vengono legate alle costanti dei fatti con cui eseguono *pattern-match*. Tutte le occorrenze di tali variabili all'interno della regola di produzione applicata verranno concordemente legate a tali valori.

Come esempio si consideri la regola di produzione c) nella quale, per convenzione, le variabili sono indicate con il prefisso « ? ». Supponendo di avere generato dinamicamente nella memoria di lavoro: *solleva* (blocco-a), allora la regola c) sarà applicabile se e solo se sarà verificata anche la seconda condizione con ?blocco già istanziato alla costante 'blocco-a'. Se tale condizione sarà verificata allora il conseguente potrà essere seguito. In questo caso si potrà eseguire la procedura di *ask* con ?blocco istanziato a 'blocco-a', il cui effetto sarà quello di chiedere all'utente il peso del blocco-a.

Normalmente il meccanismo di *pattern matching* è molto meno generale rispetto all'unificazione (Robinson, 1965) utilizzata in logica in quanto non consente la presenza di variabili da legare in ambedue gli elementi che devono coincidere.

In un determinato istante più regole di produzione possono risul-

tare applicabili. L'insieme delle regole applicabili in un determinato istante prende il nome di « conflict set »: è compito della strategia di controllo decidere quale regola eseguire effettivamente.

Chiaramente, più regole fanno parte del conflict set, più aumenta il non determinismo della soluzione, e dunque il problema richiede maggiore sforzo computazionale nella ricerca per essere risolto.

2.2.1. *Le caratteristiche principali dei sistemi di produzione*

I sistemi di produzione presentano le seguenti caratteristiche salienti:

- *modularità*: a differenza delle procedure di un programma tradizionale, la comunicazione fra le regole di produzione non avviene mai in modo diretto, ma passando attraverso la memoria di lavoro a cui vengono aggiunti nuovi fatti (o goals) e cancellati o modificati fatti (o goals) precedenti. La computazione è data-driven o goal-driven poiché le regole non vengono attivate mediante un riferimento esplicito al loro nome, ma riferendosi al loro contenuto. Per questo motivo la aggiunta, modifica o cancellazione di una regola non dovrebbe comportare effetti collaterali sui codici delle altre regole, garantendo una enorme flessibilità al sistema e dunque agevole la acquisizione di nuova conoscenza;
- *potenza espressiva*: le regole di produzione, proprio perché consentono l'inserimento di procedure, permettono di rappresentare in modo assolutamente ad hoc vari tipi di conoscenza. Risulta particolarmente semplice utilizzando opportune procedure, rappresentare conoscenza tipicamente non monotona come, ad esempio, sequenze di azioni, o esprimere, normalmente mediante valori numerici, conoscenza incerta. D'altro canto, l'inserimento di procedure che vanno a modificare la base di fatti introducendo effetti collaterali, rende, di fatto manifesto nella scrittura delle regole le modalità del loro utilizzo. Queste considerazioni mostrano come, a differenza dell'approccio logico, che esprime conoscenza in modo assolutamente indipendente dell'effettivo utilizzo, le regole di produzione, pur mantenendo un'alta modularità non sono completamente avulse da informazioni di controllo;
- *facile comprensione della notazione*: le regole di produzione risultano particolarmente espressive nella rappresentazione della conoscenza euristica ed empirica. Molta della nostra conoscenza, soprattutto il *common sense*, può essere espressa nella forma di: « Se ... allora ». Risulta invece meno naturale esprimere strutturazione della conoscenza, ereditarietà generalizzazione e specializ-

zazione mediante un'unica base di conoscenza che contiene solo fatti e regole di produzione. Per questi motivi, molto spesso le regole di produzione sono utilizzate anche assieme ad altri metodi di rappresentazione della conoscenza (ad esempio frames) di cui sfruttano la maggiore strutturazione;

- *efficienza*: le regole di produzione costituiscono una base di conoscenza assolutamente piatta ed uniforme e ciò comporta problemi nell'accesso e nell'utilizzo;
- *ridondanza*: le regole di produzione racchiudono informazioni « procedurali », anche se in modo meno evidente rispetto a quello che si può osservare in un programma tradizionale. Questo implica che l'informazione insita in una regola di produzione risulti a volte meno generale di quella espressa, ad esempio, da una implicazione logica;
- *manca di una chiara semantica*: il modello delle regole di produzione non è semanticamente chiaro o definito come il formalismo della logica dei predicati;
- *capacità esplicative*: la struttura architettonica dei sistemi di produzione rende abbastanza semplice inglobare in tali sistemi meccanismi di spiegazione che sono in grado di percorrere e rendere manifesta all'utente la strada che ha portato alla soluzione del problema. Tali meccanismi di spiegazione sono ritenuti fondamentali nel progetto di sistemi esperti, in quanto permettono un *debugging* molto ad alto livello della conoscenza e del suo utilizzo, facilitando quindi la verifica e l'aggiornamento. E infatti importante sottolineare che l'aggiornamento e la verifica di un programma di Intelligenza Artificiale è, a differenza di quello che succede in un programma tradizionale, una attività che avviene, quasi giornalmente, durante tutto il tempo di vita del programma stesso, e normalmente dovrebbe essere svolta dal solo utente finale, senza bisogno del continuo intervento del programmatore.

2.3. Le reti semantiche

Le reti semantiche (Woods, 1975; IEEE Computer, 1983; Schubert, 1976) sono un metodo di rappresentazione della conoscenza di non chiara origine e definizione. Esse hanno significati differenti a seconda dell'ambito in cui vengono utilizzate e siamo ancora lontani da una loro chiara e univoca formulazione.

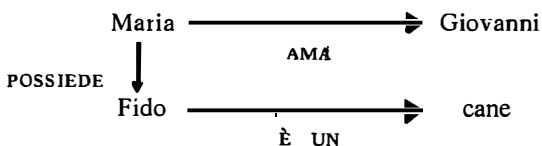
Esse sono state utilizzate nel modo più disparato sia, semplicemente, per rappresentare diagrammi su carta, sia per rappresentare possibili strutture di informazione nella mente umana, che effettiva-

mente per rappresentare strutture articolate di conoscenze (normalmente dichiarativa) in un computer.

Il loro utilizzo si è rivelato particolarmente utile soprattutto per lo studio e la comprensione del linguaggio naturale, per la descrizione e comprensione di forme, nonché per l'elaborazione di modelli psicocognitivi.

Le reti semantiche rappresentano la conoscenza mediante oggetti e relazioni fra tali oggetti. Gli oggetti sono normalmente rappresentati dai *nodi* di un grafo diretto etichettati, mentre le relazioni sono rappresentate da *archi*.

Ad esempio possibili notazioni per esprimere la conoscenza che « Maria ama Giovanni », che « Fido è un cane » e che « Maria è padrona di Fido » mediante reti semantiche sono:



Il modo con cui si decide di rappresentare una qualunque frase mediante reti semantiche, il numero degli archi e dei nodi mediante i quali risulta composta ed il loro significato risulta completamente arbitrario.

Normalmente nelle reti semantiche i nodi della rete rappresentano una disparità di differenti tipi di conoscenza, la cui differenziazione avviene solo a livello semantico. Questo causa tutta una serie di problemi nell'interpretazione della conoscenza così espressa che saranno discussi in seguito.

2.3.1. *Il significato dei nodi*

Sia concetti generali che particolari sono rappresentati nelle reti semantiche da nodi di un grafo.

La duplicazione di nodi che rappresentano lo stesso concetto è sempre evitata. Più archi possono convergere allo stesso nodo se esso rappresenta lo stesso concetto. Nel precedente esempio, Maria, che fa parte di due relazioni, è rappresentata da un unico nodo. Per questo motivo le reti semantiche possono essere considerate un ottimo metodo di rappresentazione per evitare ridondanze nella descrizione della conoscenza. I nodi, infatti, possono essere considerati come corrispondenti ad una singola locazione di memoria e gli archi possono

essere visti come le strade concettuali, ma anche fisiche (puntatori), per raggiungere in modo efficiente i concetti interessati.

Prendendo come termine di paragone la logica dei predicati del primo ordine, sicuramente le reti semantiche tendono ad enfatizzare maggiormente le entità tra cui poi tracciano correlazioni, favorendo una maggiore strutturazione della conoscenza. Da ogni nodo si possono raggiungere facilmente (mediante gli archi) tutte le informazioni ad esso correlate, mentre nel formalismo logico questo implicherebbe una scansione di tutte le asserzioni per determinare quelle che presentano l'entità di interesse come termine.

La prima origine di confusione nelle reti semantiche nasce dal fatto che i nodi della rete (concetti) possono rappresentare diverse entità semantiche, ad esempio:

- a. *singole entità individuali*: è il caso di una particolare persona (nell'esempio precedente Maria), di un particolare oggetto, di un particolare numero;
- b. *insiemi di entità*: è il caso di un insieme di oggetti, un insieme di numeri, ecc.; ad esempio:

numeri primi \longrightarrow numeri interi
SONO SOTTOINSIEME DI

- c. *concetti generali*: è il caso di concetti quali bellezza, virtù, o concetti che rappresentano un tipo descrittivo di cui certe entità fanno parte (il cane dell'esempio inteso come specie animale).

È ormai ritenuto necessario introdurre, nel metodo di rappresentazione mediante reti semantiche, una netta distinzione fra questi differenti tipi di nodi per ottenere maggiore chiarezza nella notazione (Brachman, 1983).

2.3.2. *Il significato degli archi*

Concettualmente gli archi possono rappresentare una qualunque relazione binaria fra due nodi corrispondenti (negli esempi 'ama', è sottoinsieme di, ecc.): il verso attribuito all'arco è assolutamente arbitrario e dipende all'interpretazione che di esso vien data; la presenza di una direzione con cui percorrere l'arco garantisce però non ambiguità nella descrizione. Il vantaggio di rappresentare tutte le relazioni fra oggetti in modo binario è innegabile; ciò permette di raggiungere facilmente i requisiti di modificabilità, estensibilità, modularità citati precedentemente. Tali vantaggi si possono anche facilmente raggiungere utilizzando nel calcolo dei predicati, solo notazioni che esprimano relazioni binarie (Deliyani, 1979).

2.3.3. La rappresentazione di concetti di gerarchia e default

Gran parte delle reti semantiche rendono possibile esprimere in modo completamente implicito, mediante opportune convenzioni, certe regole di inferenza che permettono di non duplicare informazioni, trattando concetti di ereditarietà (semplice o multipla) di proprietà e permettendo anche un ricoprimento di proprietà ritenute erranee o aggiornabili in base a nuova conoscenza acquisita (eccezioni e default).

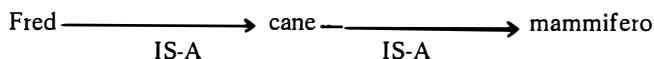
L'arco di ereditarietà fra nodi, che permette di costruire fra di essi una gerarchia, è spesso denominato IS-A, anche se il suo significato cambia notevolmente in funzione dei tipi di concetti (nodi) che è in grado di connettere.

Si pensi alle due frasi seguenti:

« Fred è un cane »

« il cane è un mammifero »

Essi possono essere rappresentati dalla seguente rete semantica:



Risulta evidente che i due archi hanno un differente significato poiché il primo afferma che un singolo individuo (Fred) appartiene ad una certa categoria o tipo (cane), mentre il secondo afferma che un certo tipo (cane) è un sottotipo o sottocategoria di un altro (mammifero).

Per questo motivo sono state proposte nuove notazioni per tali archi in dipendenza dal tipo di nodo che connettono. In modo schematico si può dire che:

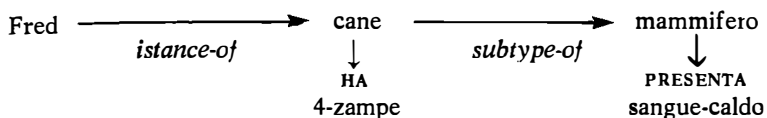
- IS-A che connettono nodi generici possono rappresentare relazioni fra tipi e loro sottotipi (*subtype-of*) oppure fra insiemi e sottoinsiemi (*subset-of*);
- IS-A che connettono nodi generici e nodi individuali possono rappresentare relazioni fra insiemi e loro singoli elementi (*member-of*) oppure fra tipi e loro incarnazioni (*instance-of*).

Per ulteriori dettagli sui possibili significati dell'arco IS-A si consulti (Brachman, 1983).

Si può notare facilmente che l'arco di connessione IS-A (o gli archi di connessione *instance-of* e *subtype-of* precedentemente introdotti) forma una *gerarchia* (o, in alcuni casi, un reticolo) dei nodi che connette, stabilendo fra essi un ordine parziale. Mediante questo meccanismo di gerarchia, diventa molto facile distribuire proprietà così

che quelle che devono essere condivise vengono memorizzate, nella gerarchia, al posto che ne permette la massima condivisione ai nodi interessati. In questo modo le proprietà comuni a più di un concetto sono al livello più generale e sono considerate ereditate dai concetti più specifici, disposti ai livelli più bassi della gerarchia.

Ad esempio la seguente rete semantica:



esprime una gerarchia fra cane e mammifero. Ne segue che il sistema (interprete) è in grado di dedurre automaticamente dal fatto che Fred è un cane le proprietà che Fred ha 4 zampe e che Fred ha il sangue caldo.

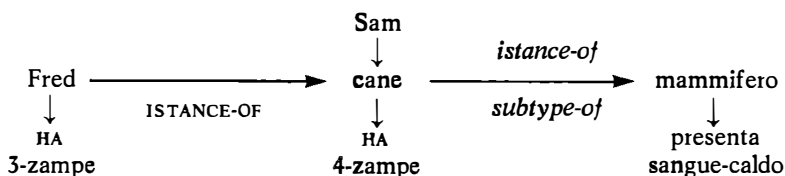
Inoltre in gran parte delle reti semantiche è possibile la definizione di meccanismi di ereditarietà multipla fra nodi della rete. Questo significa che un nodo può ereditare proprietà da più padri di cui è un sottotipo od una istanza.

La possibilità di avere ereditarietà multipla fra i nodi può indurre altri problemi di ambiguità: si pensi al caso in cui un nodo eredita dai suoi supertipi proprietà in contraddizione. In questo caso normalmente viene indicato *un verso di percorrenza* con cui l'interprete deve correre sulla rete.

È possibile, durante il processo di gerarchia ed ereditarietà di proprietà, « ricoprire » alcune proprietà. Questo vuol dire normalmente che se ai livelli più bassi della gerarchia una proprietà P ereditata viene ridefinita mediante P1, tutti i nodi ai livelli più bassi della gerarchia, a partire dal nodo di ridefinizione, non vedranno più P, ma P1.

In questo modo diventa particolarmente agevole inserire informazioni a *default* che in seguito possono essere ricoperte.

Ad esempio, consideriamo la seguente rete semantica:



L'interprete sarà in grado di dedurre che qualunque istanza di cane (ad esempio Sam) ha quattro zampe, a meno che tale proprietà

non venga cambiata esplicitamente ad un livello più basso della gerarchia (default). È il caso di Fred per il quale il sistema può dedurre che ha tre gambe (eccezione).

Anche in questo caso va sottolineato che sarebbe opportuno definire meglio tale meccanismo di possibilità di « ricoprimento » di proprietà poiché esistono proprietà che possono ammettere eccezioni e proprietà che vanno intese come quantificazioni universali senza possibilità di essere contraddette o ricoperte. La proprietà di « allattare » i propri figli è, ad esempio, tipica di tutti i mammiferi e non può essere smentita da alcuna eccezione (ne è una proprietà completamente caratterizzante). Sarebbe quindi auspicabile che una particolare notazione permettesse tale distinzione.

2.3.4. *Le reti semantiche ed il formalismo logico*

Questi due formalismi di rappresentazione possono essere visti in modo strettamente correlato (Sowa, 1984).

Per quello che riguarda la rappresentazione della conoscenza semplicemente di fatti le reti semantiche possono sembrare più naturali e comprensibili del formalismo della logica. Questo può essere dovuto da un lato alla corrispondenza uno ad uno fra nodi e concetti, dall'altro dalla visualizzazione grafica immediata delle relazioni fra oggetti mediante archi caratteristica delle reti semantiche.

Le reti semantiche presentano, però, una potenza espressiva minore della logica dei predicati del primo ordine. In esse può risultare infatti difficile esprimere:

- a. *connettivi logici*, quali and, or, not e implicazione logica;
- b. *variabili e quantificatori*.

Alcune proposte tendono ad estendere tale formalismo per consentirgli tale potenza espressiva (Schubert, 1976; Nilsson, 1980; Sowa, 1984).

Fra tali proposte si possono citare i grafi concettuali (Sowa, 1984), che rappresentano un interessante tentativo di sistemazione dei concetti precedentemente presentati e di formalizzazione delle reti semantiche.

2.4. *Frames*

Il concetto di *frame* è stato introdotto per la prima volta da M. Minsky nel 1975. Scrive M. Minsky in (Minsky, 1975)

Quando si incontra una nuova situazione (o si fa un sostanziale cam-

biamiento nel modo di concepire un certo problema) si seleziona dalla memoria una struttura chiamata « frame » che è uno schema concettuale precedentemente memorizzato che viene adattato per rappresentare la realtà...

Un frame è una struttura dati per rappresentare una situazione stereotipata, come essere in un certo tipo di camera o andare al compleanno di un bambino. *Attaccate ad ogni frame ci sono vari tipi di informazioni*. Alcune sono relative a come utilizzare il frame, altre a cosa può richiamare in seguito...

Espresso in questi termini in concetto di frame rimane a livello molto intuitivo: descritto in modo riduttivo può essere considerato come un modulo di conoscenza che descrive qualcosa in termini delle sue proprietà.

Un frame ha un nome che identifica ciò che è descritto e delle proprietà rappresentate mediante una coppia slot/valore.

L'importanza del frame e la sua struttura, come il suo effettivo utilizzo in processi di ragionamento, implica che esso, come un nodo di una rete complessa, sia connesso agli altri in un *frame system*. Le connessioni fra un frame e gli altri ed i rispettivi ruoli che devono rappresentare nella conoscenza globale, sono determinate anche esse da valori attribuiti a specifici slots.

Un esempio molto semplice di frame potrebbe essere il seguente per la descrizione di un'azione di dare:

<i>Nome</i>	<i>Slot</i>	<i>Valore</i>
Evento-di-dare	IS-A	Azione
	Chi-da	Persona
	Chi-riceve	Persona
	Oggetto	Regalo

Si osservi che, analogamente alle reti semantiche (e da questo punto di vista i frames ne condividono anche analoghe problematiche), si possono definire particolari slots in grado di determinare relazioni di *ereditarietà fra frames* (nell'esempio lo slot IS-A connette in una gerarchia, il frame evento-di-dare al frame azione). L'utilizzo di un unico slot (normalmente IS-A) sia per indicare la relazione di sottotipo che istanza è dunque da evitare e, normalmente è bene differenziare tali relazioni caratterizzandole con particolari nomi di slot ad esempio subclasses, superclasses e member in KEE: Fikes, Kehler, 1985). Nel seguito tale distinzione non verrà fatta solo per semplicità di esposizione.

Connesse ad un frame, ci possono essere molte più informazioni rispetto a quelle del frame precedentemente illustrato. Ad esempio, gli slots possono contenere informazioni che specificano se i valori associati debbano essere ritenuti di *default* e quindi assunti come veri in assenza di esplicita informazione contraria, o sempre accettabili.

Nell'esempio seguente:

<i>Nome</i>	<i>Slot</i>	<i>Valore</i>
Evento 1	IS-A	Evento-di-dare
	Chi-da	Giovanni
	Chi-riceve	Maria
	Oggetto	Libro
<i>Nome</i>	<i>Slot</i>	<i>Valore</i>
Evento 2	IS-A	Evento-di-dare
	Chi-da	Evento 1. Chi-riceve
	Chi-riceve	Antonio

il particolare Evento 1, derivato dal più generale Evento-di-dare, sovrascrive regalo con libro, mentre Evento 2 non lo ridefinisce e dunque lo eredita. Si noti che i valori associati agli slots possono essere referenziati come valori di attributi di altri slots come nel caso di colui che dà nell'Evento 2 (valore = Maria).

Altre informazioni, tipicamente procedurali, connesse anche esse agli slots del frame (*procedural-attachment*) possono indicare come utilizzare effettivamente tale frame, come procedere al processo di *raffinemento della descrizione* mediante riempimento di slots e come trattare *situazioni eccezionali* che richiedano una *revisione* del frame precedentemente utilizzato e la sua *trasformazione*.

Ad esempio potrebbe essere molto utile specificare che per ricavare il valore di un certo slot si deve eseguire una determinata procedura, mentre per modificarlo un'altra. Ogni volta che l'interprete accede a tale valore, per leggerlo o modificarlo, eseguirà dunque le procedure propriamente descritte.

La possibilità di associare alle proprietà particolari informazioni sul loro utilizzo accresce notevolmente le caratteristiche di modularità e strutturazione della conoscenza tipiche della rappresentazione a frame se permette di sintetizzare, in una unica entità concettuale, sia conoscenza dichiarativa che procedurale. Le procedure, essendo trattate nella descrizione dell'oggetto strutturato in modo uniforme rispetto ai valori delle proprietà, potranno essere ereditate e associate alle proprietà al giusto livello di generalità evitando dunque ridondanze.

Per poter specificare tali ulteriori informazioni nella struttura base slot/valore una possibile notazione è quella che permette di descrivere ogni attributo (slot) con un insieme di sottoattributi (facet) che specificano, ad esempio, il loro dominio di definizione, i loro valori a default, il loro effettivo valore (se noto) o le procedure da attivare

Ad esempio un generico componente resistivo di un circuito elettrico potrebbe essere espresso mediante la seguente notazione:

<i>Nome</i>	<i>Attributo</i>	<i>Facet</i>	<i>Valore</i>
Resistenza	IS-A	Uguale	Componente-passivo
	Valore	Unit	Ohm
	Precisione	Dominio	(1 5 10)
	Potenza	Default	5
		If-needed	Request

ed un'istanza di nome R1 dal seguente frame:

<i>Nome</i>	<i>Attributo</i>	<i>Facet</i>	<i>Valore</i>
R1	IS-A	Uguale	Resistenza
	Valore	Uguale	5000

Le procedure che vengono attivate sono individuate da particolari *facet*, in generale:

1. *if-needed* attiva le procedure ad esso associate durante la ricerca di valori da attribuire ad uno slot;
2. *if-added* durante l'aggiunta di valori;
3. *if-removed* durante la cancellazione di valori.

Nell'esempio se si desidera conoscere la potenza di R1 sarà quindi attivata la procedura « request » associata all'oggetto più generale resistenza da cui R1 deriva.

Si noti che poter specificare, per ogni attributo (slot) di un oggetto (frame) le caratteristiche generali che devono essere rispettate, indipendentemente dai valori associati, accresce notevolmente il potere espressivo della notazione. In particolare, potendo specificare con varie modalità dipendenti dal linguaggio di rappresentazione utilizzato, il dominio di validità per i valori degli attributi si possono ottenere meccanismi di definizione di tipo su tali valori tipici dei linguaggi tradizionali con tipo, ed anche più flessibili.

Ad esempio si potrà specificare che il tipo di un certo attributo deve essere:

- un particolare frame;
- dipendente a sua volta dal tipo di un altro particolare frame;
- può assumere tutti i valori tranne quelli di alcuni frames ecc.

Concludendo, mediante il metodo di rappresentazione a frames è possibile, esprimere conoscenza prototipale mediante un insieme di entità strutturate complesse opportunamente correlate. Tale metodo di rappresentazione in generale è caratterizzato da una grossa facilità di utilizzo, flessibilità, modificabilità e potenza espressiva. Permettendo inoltre l'interazione e l'integrazione di vari tipi di conoscenza, i frames rappresentano una interessante sintesi di conoscenza dichiarativa e procedurale.

3. Utilizzo di meta-conoscenza

Il termine *meta-conoscenza* (Davis, 1980a e 1980b; Aiello, Levi, 1984) significa, in modo molto generale, « conoscenza sulla conoscenza » e costituisce un modo molto interessante di accrescere la potenza espressiva di un formalismo di rappresentazione. Come esprimere meta-conoscenza e come essa possa essere utilizzata nei sistemi basati sulla conoscenza è ancora soggetto di ricerca e dibattito.

È comunque generalmente riconosciuto che l'introduzione di meta-conoscenza in sistemi basati sulla conoscenza ne accresce la modificabilità, le prestazioni, l'estensibilità e le capacità esplicative.

3.1. *Meta conoscenza e logica dei predicati*

L'utilizzo di un meta-livello accresce notevolmente la potenza del formalismo logico. Riferendoci a Bowen, Kowalski, 1982 l'introduzione di uno o più meta-livelli consente di trattare e rappresentare conoscenza non-monotona e a default.

Tale approccio permette anche di inserire informazioni di controllo sulla conoscenza di livello oggetto, mantenendo però uno stile dichiarativo. Nel seguente esempio, preso da Bowen, 1982, si descrive la rappresentazione di conoscenza a default, in un formalismo logico, mediante l'utilizzo di un meta-livello che esprime che « qualunque uccello vola a meno che tale affermazione non comporti inconsistenza nella teoria corrente » (identificata dalla costante logica 'teoria').

1 $\forall X$ [*bird* (X) and *consistent* (teoria, « fly (X) ») \rightarrow fly (X)].
 2 $\forall U, V$ [*not* (Demo (U, not (V))) \rightarrow *consistent* (U, V)].

I predicati scritti in carattere *italico* sono meta-predicati ed in particolare il predicato Demo è il meta-predicato che rappresenta la probabilità. In essi i predicati di livello oggetto (ad esempio « fly (X) »

sono considerati strutture dati (cioè termini). Si noti che è possibile specificare anche la teoria nella quale si deve ricercare la consistenza (teoria).

3.2. *Meta-regole e sistemi di produzione*

L'utilizzo di meta-regole nei sistemi di produzione (Davis, 1979; Davis, 1980a e 1980b; Stefik, 1981) ha un duplice scopo: da un lato esse possono servire per influenzare in modo esplicito la strategia di controllo dell'interprete; dall'altro possono permettere una descrizione più approfondita delle regole di livello oggetto; della loro struttura, della loro giustificazione, di colui che le ha create e del loro grado di affidabilità.

Ad esempio una meta-regola del tipo:

Usa regole che utilizzano materiali poco costosi prima di regole che utilizzano materiali molto costosi

utilizzabile, ad esempio nella progettazione di un sistema, va ad influire sulla strategia di controllo introducendo una forma di priorità relativa fra regole.

Mentre ad una regola di livello oggetto del tipo:

Se c'è infiltrazione di acido acetico allora utilizza soda caustica

potrebbe essere aggiunta una informazione di meta-livello che ne giustifica l'utilizzo del tipo:

Tale regola è motivata dal fatto che la soda caustica neutralizza l'acido.

Tale giustificazione può essere molto utile sia in fase di aggiornamento e modifica della base di conoscenza che durante la sessione di spiegazione.

3.2.1. *Meta-regole per influenzare il controllo*

Si possono introdurre meta-regole che definiscono esplicitamente quale regola di livello oggetto utilizzare quando più di una è applicabile. Anche esse sono espresse uniformemente col livello oggetto, come regole di produzione con una parte di antecedente e conseguente. Le strutture dati che referenziano sono le regole di livello oggetto applicabili sulla cui lista determinano un particolare ordinamento. È come se si fosse considerato che la selezione delle regole da applicare

sia un lavoro di tale complessità da richiedere la progettazione di un nuovo « meta-sistema esperto » con le sue « meta-regole » ed il suo « meta-interprete ».

Teoricamente anche la selezione delle meta-regole potrebbe richiedere un nuovo « meta-meta-sistema-esperto » ecc. e tali meta-livelli di conoscenza potrebbero crescere all'infinito. In realtà l'esperienza dimostra che, normalmente, già al secondo livello, la base di meta-conoscenza diventa molto semplice e dunque strategie di ricerca non informate (Nilsson, 1980) implicite nell'interprete diventano sufficienti.

Un sistema così organizzato risulta maggiormente flessibile poiché una variazione della strategia di controllo comporta solo la riscrittura di alcune meta-regole senza teoricamente influenzare le regole di livello oggetto; inoltre i meccanismi di spiegazione risultano più potenti perché si è resa esplicita anche parte della conoscenza sulle strategie di controllo.

È particolarmente interessante notare come siano referenziate le regole di livello oggetto nelle regole di meta-livello; Davis (Davis, 1980b) definisce a tale riguardo tre diverse modalità: « riferimento per nome » « riferimento per descrizione esterna » e « riferimento diretto mediante il contenuto ».

Nel *riferimento per nome* (simile alla chiamata di procedura di un linguaggio di programmazione tradizionale) alle regole di livello oggetto viene attribuito un identificatore unico; le regole di meta-livello utilizzeranno tale identificatore per esprimere ad esempio, fra di esse un ordine parziale.

Questo metodo non è da considerarsi molto flessibile, in quanto la modifica o l'inserimento di una nuova regola di livello oggetto, comporta anche una revisione del meta-livello. Una modifica della strategia comporta a sua volta la conoscenza di tutti i nomi delle regole di livello oggetto.

Nel *riferimento per descrizione esterna* ogni regola di livello oggetto deve essere associata ad un opportuno descrittore (che potrebbe rappresentare l'idea di tipo dei linguaggi di programmazione tradizionali); le regole di meta-livello utilizzano tali descrittori per esprimere, ad esempio, un ordinamento parziale.

Questa modalità è preferibile alla precedente per quello che riguarda la flessibilità; esiste comunque la necessità di aggiornare o aggiungere descrittori in caso di modifica della base di conoscenza di livello oggetto o della strategia.

Il *riferimento mediante contenuto* è, invece, quello di gran lunga più flessibile, non richiedendo teoricamente nessuna ulteriore modifica

e controllo, in caso di aggiornamento di una regola (di livello oggetto o di meta-livello); le regole sono infatti referenziate solo in base al loro effettivo contenuto menzionando, ad esempio, gli antecedenti che contengono, le azioni che descrivono, i *goals* che vogliono raggiungere

Quest'ultimo metodo sottointende una serie di importanti osservazioni:

- a. le regole di livello oggetto sono viste in modo duplice: come codice eseguibile durante l'effettiva esecuzione e come strutture dati da esplorare durante la fase di valutazione ed esecuzione del meta-livello;
- b. ne segue che la conoscenza sulla sintassi e parte della semantica del linguaggio con cui le regole sono espresse deve essere costantemente presente nel sistema per essere utilizzata come guida nella fase in cui il codice viene esaminato come struttura dati;
- c. il linguaggio con cui le regole sono espresse deve dunque essere necessariamente molto semplice e schematico.

4. Osservazioni finali e problemi aperti

Come si può sicuramente dedurre da questa panoramica il problema della rappresentazione nei sistemi basati sulla conoscenza è molto generale e di difficile classificazione. Si è ancora ben lontani da una formulazione di una effettiva « teoria della conoscenza » e dalla definizione di modelli formali sufficientemente generali.

Molti problemi restano ancora aperti e sono ancora soggetti a dibattito e discussione. Fra i tanti interrogativi aperti possiamo riportare i seguenti:

È meglio utilizzare come formalismo di rappresentazione la logica dei predicati opportunamente estesa, o è bene utilizzare metodi ad hoc per la rappresentazione di conoscenza specifiche?

È meglio adottare metodi di rappresentazione uniformi per descrivere la conoscenza oppure è preferibile utilizzare sistemi ibridi in grado di mettere assieme più metodi di rappresentazione differenti (tipicamente frames e regole di produzione)?

È bene attenersi al principio architettonico di netta separazione fra conoscenza sul dominio e controllo o tale vincolo può essere sciolto senza gravi ripercussioni sul sistema?

Come rappresentare conoscenza sul controllo: la meta-conoscenza rappresenta effettivamente la risposta definitiva a tale problema?

Quando i sistemi basati sulla conoscenza potranno ritenersi effet-

tivamente sistemi « intelligenti » in grado di apprendere autonomamente dalla loro precedente esperienza (*learning*)?

Un sistema basato sulla conoscenza non dovrebbe essere in grado di selezionare e creare dinamicamente la rappresentazione più adatta in base al problema che è chiamato a risolvere?

Se un sistema basato sulla conoscenza deve risolvere problemi come essi devono essere rappresentati e come si passa dalla specifica di un problema, normalmente espressa in linguaggio naturale, alla sua rappresentazione più pertinente?

Come concepire e strutturare un effettivo ambiente che supporti lo sviluppo di sistemi basati sulla conoscenza?

Quale impatto avranno i sistemi basati sulla conoscenza sui tradizionali metodi di sviluppo del software?

La risposta a queste domande può nascere solo da una attenta e pragmatica analisi dei sistemi basati sulla conoscenza fino ad ora progettati, connessa ad uno studio interdisciplinare delle tante aree di ricerca che, sotto diversi aspetti, indagano le problematiche della conoscenza e dell'intelligenza.

Riferimenti bibliografici

- L. Aiello, G. Levi (1984), *The uses of meta-knowledge in AI Systems*, Ecaï-84, Pisa.
- A. Barr, E.A. Feigenbaum (1981), *The Handbook of Artificial Intelligence*. W. Kaufman, Menlo Park, Cal., pp. 3-46.
- K.A. Bowen, R.A. Kowalski (1982), *Amalgamating Language and Metalanguage in Logic Programming*, in K.L. Clark, S.-A. Tarnlund (eds.), *Logic Programming*, Academic Press.
- R.J. Brachman (1983), *What IS-A is and isn't: An analysis of taxonomic links in semantic networks*, « Computer », 16, 10, ott., pp. 30-36.
- L. Brownston e al. (1985), *Programming Expert Systems in OPS-5*, Addison-Wesley.
- W.J. Clancey (1983), *The Epistemology of a Rule-Based Expert System. A Frame for Explanation*, « Artificial Intelligence », 20, pp. 215-251.
- W.F. Clocksin, C.S. Mellish (1981), *Programming in Prolog*, Springer-Verlag, New York.
- R. Davis (1979), *Interactive Transfer of Expertise: Acquisition of New Inference Rules*, « Artificial Intelligence », 12, pp. 121-157.
- R. Davis (1980a), *Meta-Rules: Reasoning about Control*, « Artificial Intelligence », 15, pp. 179-222.
- R. Davis (1980b), *Content Reference: Reasoning about Rules*, « Artificial Intelligence », 15, pp. 223-239.
- R. Davis, D. Lenat (1980), *Knowledge-Based Systems in Artificial Intelligence*, McGraw-Hill, New York.
- A. Deliyani, R. Kowalski (1979), *Logic and semantic networks*, « CACM », 22(3), pp. 184-192.

- R.O. Duda e al (1979), *A Computer-Based Consultant for Mineral Exploration*, Final Report, Grant AER 77-04499, Sri International, Menlo Park, California.
- R. Fikes, T. Kehler (1985), *The Role of Frame-Based Representation in Reasoning*, Comm. of ACM, vol. 28, n. 9, set
- F. Hayes-Roth (1984), *Knowledge Based Expert System: a Tutorial*, « Computer », set.
- F. Hayes-Roth, D.A. Waterman, D.B. Lenat (eds) (1983), *Building Expert Systems*, Addison Wesley.
- C. Hewitt, P. De Jong (1981), *Open Systems*, « Tech. Rep. Mit-Aim », 691, dic
- R. Kowalski (1979), *Logic For Problem Solving*, North-Holland, New York.
- « IEEE Computer », (n spéciale), *Approaches to knowledge Representation*, vol. 16, ott
- D. McDermott, J. Doyle (1980), *Non-Monotonic Logic I*, « Artificial Intelligence », 13, pp. 41-72.
- E. Mendelson (1964), *Introduction to Mathematical Logic*, D. Van Nostrand, Princeton, NJ
- M. Minsky (1975), *A Framework for Representing Knowledge*, in Winston (ed.), *Psychology of Computer Vision*, McGraw-Hill, New York.
- D. Nau (1983), *Expert Computer Systems*, « Computer », vol. 16, n. 2, feb.
- N.J. Nilsson (1980), *Principle of Artificial Intelligence*, Tioga Pub. C., Palo Alto, Ca
- R. Reiter (1980), *A logic for default reasoning*, « Artificial Intelligence », 13.
- J.A. Robinson (1965), *A machine-oriented logic based on the resolution principle*, « JACM », 12(1), pp. 23-41
- L.K. Schubert (1976), *Extending the Expressive Power of Semantic Networks*, « Artificial Intelligence », 7, pp. 163-198.
- E. Shortliffe (1976), *Mycin: A Computer Based Medical Consultation*, A. Elsevier.
- J.F. Sowa (1984), *Conceptual Structure: Information Processing in Mind and Machine*, Addison-Wesley.
- M. Stefik (1981), *Planning and Meta-Planning: Molgen, Vart II*, « Artificial Intelligence », 16, pp. 141-170.
- R. Turner (1984), *Logics for Artificial Intelligence*, Hellis Horword Series on Art. Int
- W. van Melle e al (1981), *EMYCIN: A domain independent system that aids in constructing knowledge based consultation programs*, « Machine Intelligence », Infotech State of The Art Report 9, n. 3.
- W. Woods (1975), *What's in a link: foundation for semantic networks*, in Bobrow, Collins (eds.), *Representation and Understanding*, Academic Press, New York.
- L.A. Zadeh (1975), *Fuzzy Logic and approximate reasoning*, « Synthese », 30, pp. 407-428
- J.J. Zeman (1973), *Modal Logic*, Oxford U.P., Oxford.

2. INTELLIGENZA ARTIFICIALE: COMPRESIONE DEL LINGUAGGIO NATURALE E COMPLESSITA'

di Graziella Tonfoni

Per affrontare in maniera adeguata il problema specifico del trattamento e della comprensione del linguaggio naturale nel settore di ricerca definito di Intelligenza Artificiale (IA) si rende necessaria una preliminare precisazione relativa alle caratteristiche che contraddistinguono tale campo di ricerca ed applicazione ad un tempo.

Vediamo prima di tutto alcune definizioni particolarmente interessanti di IA. Secondo Michie (1974)

se possiamo formare una teoria sufficientemente completa e precisa di ogni aspetto dell'intelligenza, allora possiamo anche tradurla in un programma per computer che, se la teoria è valida, ha il potere di far manifestare un comportamento simile a quello che la teoria descrive.

Altre definizioni date all'IA in forma sintetica sono state le seguenti: « L'IA si occupa della costruzione di programmi per computer per eseguire compiti che richiedono l'intelligenza » e ancora: « l'IA è lo studio delle facoltà mentali mediante l'uso di modelli computazionali ». Potremmo proseguire ancora con l'enumerazione di tali definizioni, più o meno complete; la nota accomunante da queste presentata risulterebbe comunque consistere in questo « doppio binario di marcia » costituito da un lato essenzialmente dalla preoccupazione per una ideazione, strutturazione e verifica di modelli plausibili del ragionamento umano, dall'altro dall'applicazione di tali modelli ad una pratica di programmazione volta alla realizzazione di prodotti, ovvero sistemi, cosiddetti « intelligenti », tali cioè da essere in grado di eseguire certe operazioni che vengono considerate appunto come prerogativa di un comportamento umano intelligente.

Tale « doppio binario » definisce in pratica due diverse prospettive di ricerca e due diversi atteggiamenti un primo tipo particolarmente attento all'approfondimento delle tematiche proprie del campo di ricerca delle cosiddette « scienze cognitive » ed un secondo particolarmente volto alle applicazioni e peraltro più attento alle esigenze che provengono dalla richiesta del mercato e dal settore industriale. Vediamo brevemente alcune tappe cronologiche essenziali nell'evolversi storico della Intelligenza Artificiale.

Molto tempo è infatti passato da quando, nel 1956, presso il Dartmouth College i « pionieri-padri » dell'Intelligenza Artificiale fondarono ufficialmente la nuova disciplina definita come il tentativo di riprodurre mediante processi automatici attività propriamente considerate intelligenti. Fra questi ricordiamo, in particolare, Marvin Minsky, fondatore, per anni direttore e attualmente professore, presso l'Artificial Intelligence Laboratory del Mit (Massachusetts Institute of Technology); John McCarthy, attualmente a Stanford; Claude Shannon, attivo a quei tempi presso i Bell Telephone Laboratories, noto in particolare per la teoria dell'informazione.

All'aspetto della ricerca di base, proprio del primo periodo di IA, volto essenzialmente all'ideazione ed elaborazione di modelli soddisfacenti, anche se parziali, relativi ai vari aspetti della cosiddetta « attività intelligente umana », si è venuto affiancando progressivamente tutto l'aspetto applicativo, quello cioè relativo alla realizzazione e alla commercializzazione di prodotti di IA.

Possiamo di fatto distinguere nell'ambito della ricerca in IA tre periodi: la fine degli anni '60, gli anni '70 e oggi.

Il primo periodo è caratterizzato dalla ricerca pura senza fini applicativi immediati. È questo il periodo del giocatore di scacchi (Chess Player) e del GPS (*General Problems Solver*). Il secondo periodo affianca alla ricerca pura alcune dirette applicazioni tese a testare la validità delle ipotesi di partenza. Si colloca in questa fase, per esempio, la creazione del sistema esperto Mycin, che fornisce consulenza nella diagnostica medica. Il terzo periodo, quello attuale, è piuttosto caratterizzato dall'enfasi posta sui prodotti e su quel tipo di ricerca ad essi strettamente collegato. Scopo finale non è quindi tanto l'approfondimento di tematiche complesse e più generali, ma la delimitazione di più precisi problemi da affrontare volta per volta rispetto a un obiettivo da realizzare più specifico e circoscritto.

Anche la configurazione geografica è mutata nei tre periodi: costituita nella prima fase dall'accentramento della ricerca in grossi centri universitari, quali Mit, Yale, Stanford e Carnegie Mellon, ha assistito all'affiancamento, nella seconda fase, di alcuni centri di ri-

cerca e di applicazione extrauniversitari e al dilatarsi, nella terza, in una serie di nuove piccole società (Companies) frutto di iniziativa privata, che hanno a loro volta affiancato le grandi società già esistenti negli Usa, in Giappone e in Europa. Da ricordare, in particolar modo, il progetto giapponese della quinta generazione e le aspettative da esso suscitate.

I tempi e le esigenze del mondo industriale si sono presentati spesso come assai diversi da quelli propri della ricerca relativa a problemi così ardui come quelli a cui l'IA intende di fatto tentare di dare una risposta.

Mi riferisco qui soprattutto a problemi quali quelli relativi ai processi dell'apprendimento, a come cioè noi umani impariamo e a come di fatto una macchina può, a sua volta, imparare, ovvero acquisire nuove conoscenze in un dato settore. Tale problema, come pure quello della comprensione reale del linguaggio naturale mostra infatti l'esigenza di un sorprendente investimento di tempi e di energie per la ricerca, al fine di giungere a risultati soddisfacenti.

Una ulteriore precisazione di carattere teorico e metodologico deve venire operata; l'esistenza all'interno dello stesso settore di ricerca di IA di modi diversi di concepire l'IA nel suo effettivo potenziale e precisamente l'approccio della cosiddetta *strong AI* ovvero « ipotesi forte » e l'approccio della cosiddetta *weak AI* ovvero « ipotesi debole ».

Secondo i fautori della prima ipotesi, si può rendere possibile la riproduzione delle attività intelligenti che caratterizzano il comportamento umano nelle sue varie forme. La realizzazione di tale obiettivo, comunque possibile, abbisogna unicamente di tempo ed energie adeguate.

I fautori della seconda ipotesi invece, più scettici rispetto alla realizzazione di tale ambizioso progetto ritengono più corretto parlare di simulazione parziale di attività cosiddette intelligenti.

Tale precisazione si è resa necessaria soprattutto in riferimento al settore specifico di ricerca relativo al trattamento del linguaggio naturale che costituisce una delle problematiche più complesse finora affrontate coinvolgendo problemi di rappresentazione della conoscenza, concettualizzazione, astrazione e deduzione.

È solo sottolineando appunto tale complessità di partenza che sarà legittimo tentare di delineare alcuni aspetti e linee essenziali di ricerca in relazione ai problemi di trattamento e comprensione del linguaggio naturale.

Consideriamo, come esempio, questa coppia di frasi: « La moglie di Paolo telefonò a Paolo che era in ufficio per dirgli che non

c'era più sale in casa. Sulla via del ritorno Paolo si fermò in tabaccheria ».

Cosa comprendiamo noi ascoltatori o lettori attenti da questa breve sequenza?

Il quadro evocato da questo testo, che costituisce uno stimolo di carattere linguistico all'organizzazione dei nostri processi mentali, ci presenta la moglie di Paolo come una persona che fa comunque un certo tipo di richiesta e ci presenta Paolo che si ferma in tabaccheria non tanto per comperare sigarette quanto piuttosto per soddisfare a tale implicita richiesta acquistando effettivamente del sale. Sottolineo il termine « implicita » proprio perché questo tipo di informazione che il ricevente ascoltatore o lettore ricava dalla lettura delle due frasi non è presente, non è cioè dato linguisticamente. Non troviamo infatti frasi del tipo « La moglie chiese a Paolo di comprare il sale » o « Paolo comprò il sale » ma di fatto noi ricaviamo comunque tali informazioni non presenti nel testo a livello esplicito. Questo non è che un piccolo esempio di quanto normalmente avviene nel corso dei processi di produzione linguistica: l'essere umano non esplicita mai completamente tutta l'informazione che di fatto trasmette proprio perché il cervello umano è quella particolare struttura che è in grado di attivare processi di deduzione e di inferenza e di ricreare spazi mancanti di informazione sulla base di schemi logici e moduli di organizzazione delle conoscenze in esso presenti e costituitisi attraverso l'esperienza. La nostra mente è inoltre in grado di giustificare la coerenza di sequenze di frasi che dal punto di vista logico non presentano di per sé alcuna coesione.

Consideriamo infatti questo esempio di sequenza discorsiva nel corso di una conversazione telefonica:

- Paolo ha cambiato casa, sai.
- Aspetta che vado a prendere l'agenda.

La logicità di questa concatenazione di eventi non è giustificabile se non facendo ricorso ad una pratica di esperienza quotidiana che collega l'annuncio di un cambiamento di indirizzo, nello specifico facendo ricorso allo « strumento » agenda.

Ho scelto questo altro breve esempio proprio perché ben sottolinea ed evidenzia la complessità dell'agire linguistico comunicativo propria dell'essere umano. Solo trattando di questa complessità quindi potremo affrontare credibilmente il problema del linguaggio naturale nella particolare prospettiva adottata dagli studi e dalle ricerche in IA.

Nel settore specifico del linguaggio naturale la ricerca nel campo

nell'IA ha quindi identificato una serie di problemi in ordine crescente di complessità. Se si voleva infatti raggiungere l'obiettivo finale consistente nella realizzazione di sistemi intelligenti che fossero effettivamente in grado di dialogare con gli utenti attraverso interfacce realmente sofisticate in linguaggio naturale, si presentavano tutta una serie di tappe intermedie da percorrere prima di conseguire il risultato finale.

In primo luogo si trattava, infatti, di permettere al sistema di segmentare le sequenze di frasi e, di riconoscerne le rispettive valenze sintattiche. A tale proposito si sono ideati i cosiddetti *syntactic parsers* ovvero « riconoscitori e segmentatori sintattici ».

Un ulteriore livello di analisi prevedeva invece un primo livello di attribuzione dei valori di significato ai singoli elementi sintattici identificati ovvero proiezione semantica. Un livello ancora più elaborato sempre di carattere semantico aveva infine come obiettivo la strutturazione dei significati organizzati degli interi testi in relazione a reti organizzate di rappresentazione degli elementi della conoscenza che noi umani operiamo sulla base del nostro vissuto esperienziale quotidiano, si tratta in particolare delle cosiddette reti semantiche ovvero *semantic networks*.

È proprio qui che si innestano gli studi più avanzati relativi alle capacità di elaborazione concettuale che l'essere umano presenta e che vengono tentate anche a livello automatico mediante l'ideazione di strutture concettuali più complesse quali quelle dello *script* formulata da Schank e del *plan* di Wilensky.

La teoria dello script formulata da Roger Schank (1981) è una teoria relativa all'organizzazione della conoscenza nella mente umana fondata sulla tesi che la memoria umana si organizza sulla base di liste di generalizzazioni e aspettative collegate ai singoli elementi linguistici che rappresentano gli oggetti della nostra conoscenza. Lo script si definisce in pratica come una serie di aspettative e una serie codificata di informazioni associate, nella nostra mente, ad un particolare evento che le ha evocate. Tali associazioni si costituiscono sulla base di esperienze precedentemente avute o di conoscenze già comunque incamerate. Queste informazioni permettono quindi di delimitare, dirigere e controllare i processi di inferenza che noi attiviamo, direzionandoci verso una comprensione corretta del testo linguistico.

Ognuno di noi può verificare, secondo la sua esperienza, che quando si parla di un « ristorante », per citare un esempio classico, esistono determinate aspettative che vengono immediatamente attivate nella nostra memoria al solo udire la parola « ristorante » come la presenza di un cameriere, di un luogo fisico ove consumare un pasto, di un

conto da pagare e del cibo servito. Sono di fatto tali aspettative che ci permettono di capire quei testi linguistici in cui non tutta l'informazione sia esplicita proprio attraverso l'attivazione di meccanismi e processi di deduzione ed inferenza che hanno come risultato il rimpiazzamento dell'informazione mancante. È proprio sulla base di questa organizzazione mentale che l'essere umano possiede che è possibile da un testo quale « Giovanni entrò nel ristorante. L'hamburger era bruciato. Giovanni uscì » dedurre che Giovanni non ha pagato il conto in quanto non soddisfatto. Questa informazione è di fatto ricavata da parte di ogni lettore anche se non è stata esplicitata nel testo.

Da questa teoria per la rappresentazione della conoscenza fondata su basi psicologiche è derivata la costruzione di programmi per computer per la comprensione di testi, programmi definiti appunto come « intelligenti ». È infatti proprio sulla base di una rappresentazione della conoscenza umana operata attraverso scripts che si procede per fornire al programma i meccanismi per operare inferenze corrette all'interno di uno specifico dominio di conoscenze individuato.

In particolare, l'attività di ricerca di Schank ha come obiettivo primo quello di creare una teoria psicologicamente fondata di come la mente umana è organizzata ed effettivamente opera. In altre parole, di quali meccanismi essa attiva quando si trova a dover decodificare e codificare dei messaggi, ovvero comprendere o generare dei testi. In particolar modo rispetto al problema della comprensione, si tratta di stabilire quindi quale ruolo gioca la memoria, ovvero la capacità che la mente umana possiede di « immagazzinare » certe conoscenze e riutilizzarle più volte in contesti analoghi.

È proprio a Yale, infatti, che lavorando con lo psicologo Robert Abelson sui problemi relativi ai processi della comprensione umana e della sua riproduzione artificiale, Roger Schank sviluppa la teoria dello script, teoria cioè sull'organizzazione della conoscenza nella mente umana, fondata sulla tesi che la memoria umana si organizza sulla base di liste di generalizzazioni e aspettative collegate ai singoli elementi linguistici che rappresentano gli oggetti della nostra conoscenza. Lo script si definisce, in pratica, come una serie di aspettative e una serie codificata di informazioni associate nella nostra mente a un particolare evento. Tali associazioni si costituiscono sulla base di esperienze precedentemente avute o di conoscenze già comunque incamerate. Queste informazioni permettono quindi di delimitare, dirigere e controllare i processi di inferenza che noi attiviamo, direzionandoci verso una corretta comprensione.

Come dicevo, quindi, se il mutato panorama della ricerca in IA

non può essere disgiunto da quello delle sue applicazioni, è anche vero che ciò può portare ad un rischio reale. Un rischio che si corre e che si è ormai presentato più volte, consistente proprio nell'adottare una visione riduttivistica dell'IA, che viene in pratica essenzialmente identificata con la realizzazione di interfacce sempre più raffinate. La linea di ricerca di Schank è quindi più attenta allo studio di come la mente umana veramente si organizza e opera, al contrario di altri esponenti di IA che hanno scelto l'ipotesi della logica formale come base esclusiva per la creazione di programmi intelligenti piuttosto che poggiare sull'apporto fornito dalla ricerca psico-cognitiva teso a rappresentare in particolare la conoscenza che deriva dal « buon senso », dell'esperienza del mondo esterno e dell'agire quotidiano.

Vediamo insieme ora il concetto di plan ideato e formulato da Robert Wilensky. Il *planning* secondo Wilensky (1983) costituisce quel processo secondo il quale gli esseri umani decidono e selezionano una certa serie di azioni decidendo quello che vogliono ottenere, formulando o revisionando gli obiettivi e le strategie adeguate per conseguire tali obiettivi medesimi, scegliendo fra percorsi opzionali ed infine agendo coerentemente. A tale proposito, si rendono necessarie sottospecificazioni teoriche quali:

- una teoria di *planning* che descriva il processo mediante il quale un agente intelligente determina ed esegue un certo piano di azione;
- una teoria della comprensione che descrive il processo per cui una persona che deve interpretare il comportamento di un'altra di fatto riesce a decodificarlo;
- una teoria dei *plans* che descrive ed organizza la conoscenza relativa ad entrambi gli obiettivi summenzionati.

Una costruzione di *plans* adeguata permette il riconoscimento di scopi primari e secondari nell'ambito di un certo modo di agire umano e riconosce le incoerenze o le possibili interferenze o addirittura conflitti esistenti fra più scopi che sono fra loro incompatibili e consente la risoluzione di tali conflitti.

È appunto proprio solo sulla base di una organizzazione del tipo qui presentato che è possibile di fatto rendere conto di testi linguistici quali quello considerato in partenza (La moglie di Giovanni telefonò a Giovanni che era in ufficio dicendogli che non c'era più sale in casa. Sulla via del ritorno Giovanni si fermò in tabaccheria).

Una struttura di organizzazione della conoscenza quale quella presentata dal *plan* permette infatti di inserire e collegare le aspettative così come gli scopi impliciti in certe affermazioni e permette inoltre di ricavarne le conclusioni appropriate. Di tale complessità che sot-

tende il fenomeno del comportamento linguistico non si può fare a meno qualora si vogliano giustificare fenomeni fondamentali quali quelli propri della comunicazione, della espressione e della comprensione linguistica che vanno ben oltre il semplice riconoscimento di unità sintattiche nella frase o di attribuzione di singoli significati a singoli elementi identificati.

Scripts e plans rappresentano quei meccanismi di organizzazione della conoscenza e della strutturazione dei concetti che giustificano e permettono la produzione di testi linguistici così come la rispettiva recezione e rendono possibili anche quei processi di inferenza e deduzione che di fatto permettono di ricavare informazioni non linguisticamente esplicitate proprio facendo ricorso a tali comuni strutturazioni di conoscenza.

Vorrei a questo punto considerare un ulteriore problema relativo ai processi di comprensione del linguaggio naturale e precisamente quello della astrazione e concettualizzazione. Tale aspetto risulta di fondamentale importanza in riferimento all'umano « agire linguistico » nel corso dei processi di comprensione del testo.

Come si è visto, un primo livello di comprensione del testo si può identificare col riconoscimento dei singoli elementi sintattici ed un secondo livello con l'attribuzione di significato a tali elementi ed ulteriori livelli di comprensione si possono identificare con la strutturazione semantica coerente del testo in riferimento ai domini della conoscenza e alle relative rappresentazioni che noi esseri umani abbiamo rispetto a tali diversi domini attraverso strumenti per la organizzazione, formalizzazione di tali rappresentazioni medesime attraverso « struturazioni aperte e modificabili » quali appunto i *frames* (Minsky, 1963), gli *scripts* e i *plans*. Esistono tuttavia ulteriori processi che la mente umana attiva qualora stimolata dalla lettura o comunque ricezione orale di un testo (ovvero sequenza coerente di frasi); tali processi peraltro implicano una già realizzata attivazione di preliminari processi di comprensione.

Consideriamo, per esempio due testi quali i seguenti:

Mario voleva comprare una bicicletta da corsa nuova ma si accorse di avere esaurito i soldi che aveva nel suo conto in banca. Mario era molto restio a chiedere prestiti agli amici o ai genitori.

Luisa aveva deciso di prendersi un periodo di ferie per visitare degli amici in Messico. Quando ne parlò al suo capoufficio si accorse del disappunto di questo. Luisa non aveva il coraggio di insistere.

Dalla lettura di questi due testi il lettore attento, aldilà delle singole situazioni contestuali individuate, può attraverso, l'attivazione di processi di astrazione da tali situazioni medesime, pervenire ad una unica concettualizzazione, sintetizzabile nei termini seguenti: desiderio o motivazione → difficoltà o problema.

Risulta ovvio che a tale concettualizzazione il lettore non avrebbe potuto giungere se non attraverso una previa analisi dei singoli elementi della frase e una rispettiva riconduzione all'interno di domini relativi a conoscenze del suo vissuto esperienziale quotidiano nonché mediante processi di inferenza e deduzione.

Quello che comunque il lettore ha raggiunto, in questo caso è un livello superiore di analisi ed interpretazione del testo medesimo, livello che gli permette inoltre di riscontrare una corrispondenza analogica fra due testi che peraltro si riferiscono a contesti di azioni e a situazioni ben diverse fra loro.

Stiamo quindi trattando e considerando la « punta della piramide », se volessimo con una metafora definire il problema dello studio relativo alla comprensione del linguaggio naturale.

In riferimento specifico a questo aspetto « massimamente evoluto » della comprensione testuale, quello cioè relativo ad astrazione e concettualizzazione, si è resa necessaria, all'interno del settore di ricerca di IA, una strumentazione assai sofisticata per la rappresentazione concettuale.

Mi riferisco in particolare qui al concetto di *plot unit* ovvero unità narrativa come formulato da Wendy Lehnert.

Lehnert (1982) identifica alcune strutture basate su configurazioni di primitivi narrativi che si riconducono alle due fondamentali categorie di stati mentali o affettivi (*mental states*) ed eventi o accadimenti (*events*) rispettivamente.

La combinazione più o meno complessa di stati mentali ed eventi, secondo nessi di causalità, costituisce il configurarsi di aggregazioni più o meno complesse, le unità narrative appunto. Esempi di unità narrative semplici identificate da Lehnert sono, per esempio, il Problema, il Successo, il Fallimento; un esempio di unità narrativa complessa cioè costituita da una sequenza di unità narrative semplici, è invece la Rinuncia costituita dalla sequenza Motivazione → Problema → Cambiamento di Opinione.

La comprensione concettuale del testo narrativo avviene attraverso l'identificazione, mediante previa astrazione, di tali strutture all'interno del testo medesimo in esame.

Tali strutture concettuali permettono inoltre di rendere conto dei processi di sintesi o sommarizzazione testuale che attestano e garanti-

scono l'avvenuta comprensione del testo da parte del lettore che, di fatto, ricrea un testo ridotto sulla base del riconoscimento della architettura concettuale del testo medesimo di base, operando in relazione ad essa la selezione relativa alle informazioni importanti da mantenere nel testo (informazioni focali) rispetto a quelle eliminabili in quanto non focali (Tonfoni-Doyle, 1982).

Parlare di sintesi intelligente di testi implica pertanto un livello di comprensione interpretativa assai elevato. A tale proposito, già esistono, allo stato attuale alcuni sistemi in grado di « funzionare »; deve essere comunque precisato che lo stato attuale della ricerca in IA è ancora lontano dagli ambiziosi obiettivi prefissati ed i sistemi realizzati sono allo stadio di « prototipi », piuttosto che di prodotti realmente usati.

Il termine qui adottato « funzionare » indica precisamente la capacità di alcuni sistemi definiti appunto come « intelligenti » di analizzare testi narrativi, relativi a ben specifici settori della conoscenza, e di estrarne informazioni rilevanti nonché di fornire all'utente risposte relative alle informazioni contenute o comunque implicate nel testo stesso. Ciò si rende possibile proprio attraverso l'uso di un parser e di sistemi per la rappresentazione della conoscenza assai evoluti.

Deve essere comunque ben chiaro, nuovamente, che molto lavoro deve essere ancora svolto in questo senso e che i risultati finora raggiunti sono comunque relativi ad ambiti ben specifici e delimitati.

In particolare, per quanto riguarda il lavoro di ricerca svolto in relazione ai processi di sintesi testuale e di riconoscimento della struttura concettuale del testo, il materiale analizzato (genere narrativo) risulta piuttosto omogeneo; è soprattutto costituito da brevi racconti o notizie giornalistiche; il corpus è quindi piuttosto omogeneo e riconducibile a settori di conoscenza ben specifici in quanto riguardano situazioni e quindi eventi altamente stereotipizzabili. Per citare un breve esempio si predilige la trattazione di testi relativi a situazioni comuni quali citazioni in tribunale, matrimoni, divorzi e catastrofi naturali.

Sempre più, con l'evolversi della ricerca relativa alla comprensione del linguaggio naturale e, nello specifico, di testi linguistici si sono però evidenziati problemi di diverso ordine di complessità: primo fra tutti la necessità di ricorrere ai ragionamenti del cosiddetto « buon senso » (*common sense reasoning*) per poter effettivamente giustificare la comprensione di determinati testi.

Del resto questa considerazione risulta semplicemente evidenziare quanto noi esseri umani correntemente facciamo nell'esprimerci così

come nel decodificare i messaggi che ci vengono inviati, linguisticamente.

Potremmo, ora, entrare maggiormente nei dettagli in merito a quest'ultimo punto; preferirei però, considerati anche i limiti di tempo, rinviare al dibattito eventuali ulteriori chiarimenti a proposito, per passare piuttosto ora ad una serie di considerazioni di carattere più generale relative ai presupposti teorici e filosofici su cui i modelli relativi alla comprensione del linguaggio naturale in IA si basano.

Il primo presupposto di ordine teorico è il seguente: esiste una realtà esterna oggettiva e rappresentabile, esiste una omogeneità o comunque omogenizzabilità nella percezione formale di tale realtà ovvero una rappresentabilità della conoscenza.

Inoltre l'IA, nel suo versante maggiormente collegato alle scienze cognitive così come all'approccio specifico delle medesime, viene a basarsi sul seguente principio: un qualsiasi processo che viene svolto dalla mente umana può essere necessariamente riprodotto mediante un modello computazionale che opera attraverso il medesimo algoritmo.

Le opposizioni a tale assunzione metodologica sono state numerose da parte di filosofi non appartenenti al versante IA, quali Dreyfus (1979) e Searle (1980).

Tale assunzione di base è propria delle scienze fisiche e biologiche che affermano appunto una base meccanicista per i fenomeni naturali.

Devono, a questo punto, peraltro venire operate alcune specificazioni: in primo luogo deve essere chiaro che la capacità di realizzare un programma che « funziona » non garantisce di per sé la validità della teoria che la sottende. In secondo luogo un modello di IA realmente valido dovrebbe basarsi sugli stessi procedimenti utilizzati dalla mente umana; questo peraltro non può accadere molto spesso vista la assai scarsa conoscenza che allo stato attuale abbiamo in relazione al funzionamento effettivo della mente umana.

Un programma di IA che « funziona » può aiutare nella ulteriore ricerca relativa ai meccanismi effettivamente attivati dalla mente umana nelle proprie attività intelligenti e peraltro costituire un parametro di riferimento e verifica rispetto ai vari possibili modelli cognitivi costruiti, può inoltre semplicemente costituire un utile strumento applicativo privo di velleità teoriche.

In terzo luogo, se è vero che un essere umano può spiegare il proprio comportamento intelligente, ciò deve avvenire anche per un sistema « intelligente ». Questa è la ragione per cui sarebbe totalmen-

te errato definire « intelligente » il famoso Eliza ideato da Weizenbaum (1965) che simula un dialogo possibile fra psichiatra e paziente sulla base di un principio molto semplice: alcune parole pronunciate dal paziente « scatenano » ovvero attivano (*trigger*) corrispondenti reliche da parte del sistema che appare perfettamente coerente e credibile, ma risulta di fatto basato su di un « trucco ».

In quarto luogo, così come le strutture biologiche non possono venire disgiunte dalle funzioni che esercitano e i fenomeni che esse generano devono essere analizzati in relazione agli scopi che sottendono, così deve accadere anche per i sistemi di IA.

Queste considerazioni operate risultano indispensabili ai fini di un corretto ridimensionamento nelle aspettative relative alle effettive potenzialità dei sistemi di IA, nel caso particolare qui affrontato con speciale riferimento al comportamento linguistico e comunicativo.

Inoltre, come si è precedentemente precisato, la modellistica di IA si muove comunque all'interno di un paradigma teorico ben preciso che afferma l'esistenza oggettiva di una realtà esterna, la sua percepibilità omogenea ovvero la costituibilità della conoscenza e peraltro la rappresentabilità della medesima.

Come già accennato, esistono peraltro paradigmi teorici ben diversi che negano tali presupposti.

Nella prospettiva propria dell'IA, il linguaggio naturale viene considerato come strumento per la rappresentazione della conoscenza e della realtà e per la veicolazione di informazioni ad essa relative.

Una prospettiva filosofica diversa, in particolare quella relativa alla teoria degli Atti linguistici di Searle, vede piuttosto il linguaggio come strumento di creazione di tale realtà che non è, di per sé, esistente « a priori ».

Secondo tale prospettiva il linguaggio è azione ed esprime l'intenzionalità dell'agente comunicativo che si esprime, ovvero agisce, linguisticamente.

Tale approccio mette in discussione radicalmente i fondamenti teorici su cui tutta la ricerca di IA relativa al linguaggio naturale si basa.

A questo punto vorrei comunque fare riferimento alla polemica e dibattito avviato da Searle proprio sul problema della impossibilità di riprodurre artificialmente l'intenzionalità umana (cfr. Tonfoni, 1984).

È comunque chiaro, a mio parere, che tutta una considerazione che vale per il linguaggio naturale, quella appunto relativa alle complessità di facoltà ed elementi interagenti che rendono conto del comportamento linguistico comunicativo dell'essere umano, può essere

riferita più in generale a tutta un'ampia serie di settori di ricerca propri dell'IA, quali quello dell'apprendimento (*learning*) del ragionamento secondo buon senso (*common sense reasoning*), del ragionamento logico (*logical reasoning*) ecc.

Tale complessità si mostra evidentemente non 'catturabile' all'interno di sistemi.

Mi sembra comunque a questo punto importante chiarire che il necessario ridimensionamento nelle aspettative risulta una garanzia per una maggiore serietà nell'andamento della ricerca che per sua natura è complessa e non può essere ristretta e condizionata da esigenze esterne.

Mi è caro usare, a questo proposito, una metafora: credere che l'IA sia semplice sviluppo di sistemi esperti è come guardare solo alla punta emergente di un iceberg, mostrando di non conoscere tutto il patrimonio di ricerche che sta « sotto » ed effettivamente regge tale punta.

Il « riduzionismo » non può che portare necessariamente a successive delusioni.

Le preoccupazioni derivanti da una possibile visione « riduttivistica » dell'IA considerata come semplice realizzazione di prodotti sono emerse pienamente, del resto, anche nel corso dell'ultima conferenza di Austin sull'IA dove si è parlato di rischio di « congelamento » della ricerca; il termine usato è stato proprio quello di *winter*, ovvero di « inverno ».

Tale inverno sarebbe costituito proprio da una politica di gestione della ricerca tesa a minimizzare i tempi della ricerca stessa e ad assolutizzare, piuttosto, prodotti in via di sviluppo che non sono giunti affatto al loro stadio finale ed ottimale.

Vorrei concludere a questo punto facendo riferimento al modello relativistico da me ideato per l'analisi e valutazione per i sistemi di IA (Tonfoni, 1985) perché mi sembra che possa fornire alcuni stimoli per il successivo dibattito. Se ne enucleano qui i punti fondamentali: un approccio « relativistico » (*relativistic approach*), applicato alla ideazione-progettazione-architettura e valutazione di un sistema IA, in particolare riferimento al linguaggio naturale, si basa sull'assunto di base che un qualsiasi modello di IA è un modello « ridotto » rispetto alle effettive potenzialità proprie dell'intelligenza umana in gran parte peraltro ancora sconosciute. Tale modello deve pertanto venire relativizzato ovvero considerato alla luce dei seguenti punti.

Dato il modello x:

1. A quale fine x viene ideato?
2. A quale teoria o modello di comportamento si riferisce x?

3. A quale obiettivi mira tale teoria o modello e a quale scopo è stata costruita?
4. Tale teoria o modello sono stati scelti arbitrariamente o sono motivati psicologicamente?
5. Quali sono gli aspetti di tale teoria o modello che possono essere generalizzati e quali no?
6. Quali aspetti del problema in esame non possono venire trattati dal modello scelto?
7. Quale rilevanza hanno tali problemi nel più vasto modello teorico trattato?
8. Esistono altri modelli che trattano tale problema? Quale livello di compatibilità o incompatibilità presentano rispetto al modello x ?
9. Se esistono problemi nella realizzazione di x , quando si verificano e come?
10. Se esistono conflitti, sono tali conflitti generati dal ricorso effettuato a paradigmi teorici fra di loro incompatibili e a diversificati criteri di valutazione?

Con la presentazione di punti essenziali del modello relativistico concludo riservando poi ulteriori eventuali chiarimenti in sede di dibattito.

Riferimenti bibliografici

- I.R. Carbonell (1970), *Mixed initiative man computer instructional dialogues*, « BBN Report », n. 1971, Bolt Beranek and Newman Inc., Cambridge, Mass
- H.L. Dreyfus (1979), *What Computers can't do: A critique of Artificial Reason*, 2nd ed., Harper and Row, New York.
- W. Lehnert (1982), *Plot Units: A narrative Summarization strategy*, in W. Lehnert, M. Ringle (eds), *Strategies for Natural Language Processing*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, N.J.
- D. Michie (1974), *On Machine Intelligence*, Wiley, New York.
- M. Minsky (1963), *Steps Toward Artificial Intelligence*, in E.A. Feigenbaum, I. Feldman (eds.), *Computers and Thought*, McGraw Hill, New York, pp. 406-450.
- R.C. Schank, C.K. Riesbec (1981), *Inside Computer Understanding*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, N.J.
- J. Searl (1980), *Minds, Brains and Programs*, *The Behavioral and Brain Science*, s. 3, pp. 417-457; v. Tonfoni, 1984 (a cura di).
- G. Tonfoni (a cura di) (1984), *Menti, cervelli, programmi: un dibattito sull'intelligenza Artificiale*, Clup, Milano.
- G. Tonfoni (1985), *La comunicazione cambiata*, Jackson, Milano.
- G. Tonfoni (1985), *A Relativistic Approach*, « The AI Magazine », 6-2, pp. 24-25.

- G. Tonfoni, J.R. Doyle (1982), *Understanding Text through Summarization and Analogy*, « AI Memo », 617, The AI Lab, Mit, in G. Tonfoni (a cura di) (1985), *Artificial Intelligence and Text Understanding: Plot Units and Summarization Procedures*, « QRL », 6, pp. 95-129.
- R. Wilensky (1983), *Planning and Understanding*, Addison Wesley, Reading, Mass.
- P.H. Winston (1984), *Artificial Intelligence*, Addison Wesley, Reading Mass.

APPENDICE

Nella trattazione del problema della generazione del linguaggio naturale (*natural language generation*) e della comprensione del linguaggio naturale (*natural language understanding*) che costituiscono il settore specifico del trattamento del linguaggio naturale (*natural language processing*) nell'ambito della ricerca di Intelligenza Artificiale, si possono individuare alcune fasi particolarmente significative.

Si può innanzitutto individuare un primo periodo (1950-1960) caratterizzato da interessi di tipo prevalentemente sintattico definibile come *syntactic* era particolarmente volto all'analisi dei problemi propri della traduzione interlinguistica condotta sulla base della corrispondenza sintattica degli elementi ovvero secondo un procedimento « parola per parola ».

Gli scarsi risultati ottenuti nel corso di tale indagine così come i sistemi derivati per la traduzione automatica, completamente inadeguati rispetto agli scopi prefissati ha dato luogo ad una successiva polarizzazione degli interessi nonché focalizzazione su problemi specificamente semantici ovvero di riproduzione del significato, considerato come struttura portante su cui si deve basare una qualsiasi teoria tesa alla giustificazione dell'attività linguistica e comunicativa dell'essere umano, nonché della relativa riproduzione di tale attività medesima nella costruzione di sistemi artificiali. Tale secondo periodo (1962-1973) denominato *semantic information-processing era* ovvero periodo del trattamento della informazione semantica è contraddistinto dalle seguenti caratteristiche:

1. focalizzazione, studio e analisi relativa a domini specifici e delimitati della conoscenza e costruzione di un patrimonio di expertise strettamente collegato a tali domini specifici identificati;
2. *big-switch theory*: ovvero fede nella possibilità e legittimità di concepire un sistema ampiamente intelligente costruito sulla base della giustapposizione ed assemblaggio di una serie di esperti specifici da settori singoli e delimitati, uniti poi successivamente e coordinati da un « esperto organizzante » in grado di attivare alternatamente gli esperti più opportuni, nelle circostanze che lo richiedono ed in relazione ai singoli e rispettivi problemi successivamente trattati;
3. uso di *Keywords* ovvero di parole-chiave per attivare certe operazioni da parte del programma. Un esempio tipico è costituito dal

sistema *Eliza* costruito da Weizenbaum nel 1965;

- 4.. traduzione dall'inglese a linguaggi formalizzati come nel caso del programma *Student* realizzato da D. Bobrow nel 1968 che traduce problemi dal linguaggio algebrico ad una serie di equazioni lineari.

Una successiva data « storica » nella ricerca di Intelligenza Artificiale è costituita dal 1970 anno in cui Schank pone le basi per la delimitazione della sua *Conceptual Dependency Theory* (CDT) ovvero teoria della dipendenza concettuale nell'ambito della quale identifica una serie di primitivi semantici o categorie verbali cui ricondurre la serie dei verbi utilizzati normalmente nel corso dell'agire linguistico quotidiano.

Tali primitivi semantici sono i seguenti:

- M-Trans*: trasferimento di informazione mentale (dire, raccontare...);
A-Trans: trasferimento di proprietà (dare, prestare, vendere...);
P-Trans: trasferimento fisico di un oggetto (portare, spostare, alzare...);
Conc: concettualizzazione (pensare, formulare...);
M-Build: costruzione di strutture di memoria (ricordare, rammentare...);
Attend: percezione sensoria (ascoltare, sentire, vedere...);
Propel: applicazione forza fisica ad oggetto (muovere, spingere);
Move: movimento corporeo (correre, camminare...);
Grasp: afferrare con la mano (impugnare, agguantare...);
Ingest/Expel: ingerire/espellere.

Le rappresentazioni basate sul CDT vengono usate per organizzare anche le aspettative relative.

Un sistema realizzato sulla base della CDT che opera parafrasi basate sui primitivi elencati è costituito dal sistema *Margie* (Schank, Goldman, Rieger, Riesbek) nel 1973.

Si veda un esempio di rappresentazione di frasi secondo la traduzione della medesima in CDT:

John gave Mary a bicycle

John ^p	ATRANS	^o bicycle	Mary
			John

Margie si compone di tre moduli, rispettivamente: *Eli* (Riesbeck, 1973) opera il *parsing* e la traduzione in CDT; *Memory* (Rieger, 1973) genera le inferenze sulla base di CDT; *Babel* (Goldman, 1973) genera la parafrasi del testo di Roger Schank ed il suo gruppo di ricerca presso l'Università di Yale segnano l'inizio di una fondamentale opera di interazione fra il versante computazionale ed il versante cognitivista nella costruzione di modelli propri dell'agire linguistico e della rappresentazione della conoscenza.

Si è già parlato nel corso dell'esposizione precedente della fondamentale importanza di una struttura per la rappresentazione della conoscenza quale lo *script* (Schank, 1977), il *plan* (Wilensky, 1980) la *plot unit* (Lehnert, 1982), per la specificazione di tali aspetti si rimanda quindi alla precedente relativa trattazione.

In questa sede di appendice si intendono piuttosto fornire altri elementi che meglio specifichino le caratteristiche costitutive di alcuni fra i principali sistemi realizzati nell'ambito della così definibile « scuola di Yale ».

Si distinguono innanzitutto due diversificate e pur compresenti tendenze che si sono realizzate in due diverse modalità di concezione della architettazione dei sistemi medesimi, in particolare:

1. Creazione di programmi che procedono seguendo una progressione top-down derivando cioè dallo scopo la strategia relativa da parte di un protagonista e derivandone poi le relative inferenze.
2. Realizzazione di programmi che analizzano parola per parola tutto quello che leggono in un testo. È questo il caso del programma realizzato da Cullingford nel 1978, SAM (*Script Applier Mechanism*) e del programma realizzato da Wilensky nel 1978, PAM (*Plan Applier Mechanism*).
3. Realizzazione di programmi che procedono secondo una progressione botton-up e che analizzano solo alcuni elementi rilevanti del testo e non tutto il testo integralmente. È questo il caso specifico del sistema *Frump*, realizzato da De Jong nel 1979 che analizza unicamente i dati che rappresentano gli eventi importanti riconducibili a una certa serie di *scripts*, quali quelli relativi a catastrofi fisiche o eventi di cronaca.

Secondo gli stessi criteri opera anche il programma IPP ideato da Lebowitz nel 1980 che agisce sull'unico dominio di conoscenza relativo al « terrorismo » e a tutto quanto risulta essere ad esso collegato.

Frump ed IPP sono entrambi definiti come *text-skimmers* cioè lettori frettolosi che sorvolano su dati non considerati pertinenti, soffermandosi unicamente sui dati ritenuti importanti.

Una sintesi delle due linee di ricerca e realizzazione delineate è costituita dal sistema *Boris* ideato nei mesi immediatamente successivi sempre presso Yale.

Boris si caratterizza per le seguenti proprietà:

1. opera una comprensione a più livelli;
2. legge ed analizza ogni elemento del testo;
3. tratta testi narrativi che implicano e richiedono conoscenze diverse;
4. opera processi di riconoscimento del tema testuale astratto;
5. parte dalla informazione reale fornita dal testo e non sulla base di aspettative predeterminate (bottom-up);
6. opera sulla base di un modello cognitivo validato da una ricerca allargata mediante testing psicologico.

Si sono finora elencate, lungi dalla pretesa di esaustività, alcune fra le tappe cronologiche e gli eventi più significativi relativi alla ricerca e all'analisi del linguaggio naturale nonché alla costruzione di sistemi basati sull'applicazione dei risultati di tale analisi nella prassi di programmazione.

A tale proposito si è quindi sottolineata la rilevanza fondamentale della ricerca avviata e sviluppata presso il Computer Science Laboratory di Yale University da Roger Schank e dai suoi collaboratori.

È impossibile, in questa sede, precisare nel dettaglio le linee evolutive complesse e plurime di tale ricerca; si è quindi preferito delineare comunque le tendenze specifiche da essa manifestate.

Si completa ora la breve rassegna panoramica citando la data di un altro « evento » assai importante per quanto riguarda la realizzazione di modelli linguistici e di sistemi su di essi basati, evento realizzatosi presso l'Artificial Intelligence Laboratory del Mit nel 1972 e consistente precisamente nella realizzazione del programma *Shrudlu* di parte di Winograd. *Shrudlu* rappresenta un dialogo interattivo relativo allo spostamento di oggetti geometrici nell'ambito di un micromondo di oggetti fisici. Le frasi costituiscono programmi e le singole parole le fasi di tali programmi medesimi.

Shrudlu risulta comunque assai limitato in quanto agisce in una microrealtà opportunamente preorganizzata; non per questo deve essere sottovalutata la sua importanza capitale nell'ambito delle prime e più significative realizzazioni di sistemi interattivi di linguaggio naturale.

Rimandiamo ora per la trattazione più specifica delle strutture di rappresentazione della conoscenza alla parte che precede.

3. INTERAZIONE UOMO-MACCHINA INTELLIGENTE: ASPETTI COGNITIVI E VISSUTI EMOZIONALI

di Silvana Contento e Gianni Brighetti

L'introduzione delle tecnologie informatiche e più in generale dei computers nel mondo della produzione ha innescato effetti che oltre a ripercuotersi sull'efficienza e sulla rapidità nell'esecuzione di compiti, hanno modificato, e ancor più lo faranno nel futuro, stili di lavoro, rapporti fra le persone, modi della comunicazione. La tecnologia informatica infatti, oltreché facilitare e rendere più veloce la produzione di merci, è, come sappiamo, soprattutto centrata sulla produzione di un bene dalle caratteristiche particolari quale l'informazione.

Fino ad oggi lo scambio informativo avveniva, almeno fra gli umani, attraverso lo strumento diretto del linguaggio, scritto o parlato e in anni relativamente recenti al massimo attraverso la mediazione strumentale delle radiotrasmissioni o della telefonia. L'uso dei computers sia nelle grandi configurazioni che nelle recenti versioni personal, ha introdotto nello scambio comunicativo elementi di novità così importanti da orientare una grande mole di ricerca nella direzione della comprensione accurata di questi fenomeni. Una prova evidente di questo rinnovato e modificato interesse è ad esempio rappresentata dalla nascita e lo sviluppo di società di *human factors*. Queste hanno privilegiato in tempi recenti l'approccio cognitivo al problema classico dell'ergonomia, testimoniando nelle ormai numerose riviste del settore l'adeguamento della riflessione e della ricerca psicologica alle mutate condizioni imposte dal salto di tecnologia.

Parallelamente infatti all'espansione e all'affinamento delle tecniche informatiche, la psicologia e particolarmente la psicologia cognitivista ha sviluppato, fondandoli su basi sperimentali, un apparato teorico e una modellistica che tentano di dar conto dei processi di comprensione e di comunicazione degli umani sulla base del processamento delle informazioni sottostanti tali attività. Il cognitivismo

infatti basa la sua analisi sul processamento dell'attività che va dalla stimolazione proveniente in entrata da « periferiche » quali occhi, orecchie, mani, e quindi da tutti gli organi di senso alla decodifica ed interpretazione in sede centrale e infine alla messa in atto di strategie e piani di risposta adeguati. Queste risposte possono essere sostanzialmente di tipo adattivo, o finalizzate all'azione, o ancora operazioni di messa in memoria di dati o routines da utilizzare al bisogno. La successiva validazione di modelli di questo tipo in psicologia, avviene normalmente attraverso tecniche sperimentali, anche se negli anni più recenti vanno sempre più affermandosi tecniche di simulazione attraverso il computer, attraverso le quali è possibile verificare soprattutto i livelli di predittibilità dei paradigmi teorici.

In questa opera di analisi delle attività mentali che hanno luogo nelle operazioni di pensiero, la psicologia cognitivista pone l'accento sull'organizzazione interna dei processi stessi, inserendo in questa modalità esplicativa anche quell'ampia gamma di situazioni interattive su cui si fonda la comunicazione fra umani. Il concetto di interazione assume, per lo psicologo cognitivo, il valore di comprensione, memorizzazione e apprendimento del contenuto informativo trasmesso da una emittente, sia essa uomo o macchina, con costruzione di piani di azione per la risposta appropriata.

Una definizione di interazione così delineata è volutamente riduttiva rispetto alla reale ricchezza degli scambi comunicativi che ognuno di noi mette quotidianamente in atto, ma si presta al momento, per la sua semplicità a chiarire meglio il modo con il quale gli strumenti della psicologia possono risultare utili anche in una situazione interattiva relativamente « debole » come quella uomo-macchina, senza escludere la possibilità di affrontare con strumenti teorici anche diversi tutti quegli aspetti « forti » dell'interazione stessa.

Rispetto al tema dei modelli finalizzati alla spiegazione della comprensione umana, va ricordato che una delle loro caratteristiche peculiari consiste nel tentativo di rappresentare la conoscenza stessa e cioè descrivere secondo quali strutture le informazioni vengano immagazzinate e organizzate. Fra questi modelli, quello a rete di Collins e Quillian (1972) e Collins e Loftus (1975), basato sull'assunto che i concetti, le informazioni di un dominio siano codificate in maniera gerarchica. Le proprietà degli elementi presenti non hanno tutte la stessa importanza, alcune sono più caratterizzanti, altre meno tipiche. Esse sono comunque associate, legate tra loro in un'ampia rete i cui nodi rappresentano i concetti stessi. Contrariamente ad altri modelli di rappresentazione di significati, il modello a rete sembra presentare caratteri sperimentalmente verificati di economia cognitiva, nel senso

che proprio per la loro organizzazione gerarchica le informazioni verrebbero recuperate più facilmente e in tempi relativamente minori. Capire, ricordare, attribuire significati, categorizzare e strutturare le informazioni, sono azioni che stanno alla base di tutte le forme di interazione umana. Ma sulla base di quali processi sottostanti si articolano? Che cosa significa cognitivamente passare delle informazioni?

La comprensione di un testo scritto, di un messaggio verbale ecc. dipende dalla conoscenza di base che si ha della specifica situazione in oggetto. Con questo si intende che qualsiasi informazione viene trattata, decodificata in base a schemi concettuali predefiniti, vale a dire a conoscenze generalizzate di eventi, oggetti o situazioni preesistenti e che costituiscono per ognuno di noi un quadro di riferimento concettuale, una rappresentazione di conoscenze generali che si hanno del mondo. Proposte di descrizione di campi particolari dell'organizzazione delle conoscenze quali piani, scripts, frames hanno già trovato ampia applicazione in Intelligenza Artificiale.

Una definizione più generale in quanto non ristretta a tipi di conoscenza specifica, è quella di Bartlett (1958), che fa riferimento al concetto di « schema », inteso in termini psicologici come regola generale di costituzione dell'universo concettuale umano. Questo stesso concetto di schema assume per Neisser (1976) un ruolo determinante nelle funzioni cognitive in quanto, pur essendo modificabile dall'esperienza, rappresenta il nucleo di base dell'intero ciclo percettivo integrando così tipi di conoscenze esprimibili con modalità diversificate, siano esse linguistiche, visive, ecc.

Sulla base di tematiche ispirate proprio a questi autori, Woods (1984) ha di recente sottolineato in uno studio sulla « coppia cognitiva » uomo-macchina, quanto opportuno sarebbe allora nella progettazione dei displays il tener conto di una organizzazione spaziale dei dati che possa tradurre il modello interno dell'utente in una mappa percettiva. Sappiamo del resto che il carattere principale degli schemi è quello di essere processi attivi. La loro funzione è quella di fornirci un mezzo per capire e quindi interpretare e costruire la realtà. La presa di informazione genera apprendimento in quanto, utilizzando una terminologia tipicamente piagetiana, questa attività si articola su un duplice movimento che comprende l'assimilazione di nuovi dati, nuove conoscenze, e l'accomodamento cioè la trasformazione, l'adattamento della struttura o schema per poter far posto a nuovi dati acquisiti. Nel processo di categorizzazione e rappresentazione mentale sarebbero così operanti conoscenze prototipiche dove il prototipo (Rosch, 1977) è una specie di immagine mentale, un « rappresentante » degli attributi tipici di un concetto, della struttura interna di questo.

In tal senso la funzione del prototipo è paragonabile a quella dello schema.

Anche se i modelli cognitivi costituiscono la base logica di partenza per l'analisi dell'interazione uomo-macchina – dalle conoscenze su come gli umani comprendono, comunicano e ricordano al trasferimento delle forme di questa conoscenza al software delle macchine – essi non esauriscono certamente la ricchezza delle forme interattive fra gli uomini. Difatti queste sono in gran parte basate su una complessa serie di vissuti emozionali, di stili comunicativi, di effetti di socializzazione anche molto diversi. Così, se è certamente vero quello che sostengono Hasling, Clancey e Rennels (1984) che il lavoro di spiegazione è connesso con la conoscenza richiesta per risolvere un problema, e che esistono modelli del ragionamento umano ai quali è necessario riferirsi nella costruzione di sistemi esperti ad esempio, tutto ciò appare per lo meno incompleto, quando non addirittura dubbio, se si considera la struttura e la trasmissione di gran parte del sapere empirico. Una diagnosi medica, una risposta comportamentale, una strategia di ricerca, non sono quasi mai il risultato dell'applicazione sistematica di regole deduttive e comunque formali, le quali valgono invece per la logica, la matematica e la fisica. Molti dei sistemi automatici che vengono usati oggi non soltanto per il calcolo numerico ma per una serie di operazioni che implicano il trattamento dell'informazione linguistico-simbolica, vengono adoperati da utenti la cui conoscenza non solo non è necessariamente informatica o ingegneristica, ma di frequente si misura a fatica con innovazioni tecnologiche che rompono in qualche maniera un quadro consolidato di stereotipi cognitive. A ciò bisogna aggiungere che nella realtà di tutti i giorni e con questo intendiamo il mondo della produzione, della ricerca, della scuola, dei rapporti sociali, la nostra modalità di risolvere problemi tiene conto in maniera rilevante dei fattori di interazione che sostanziano la nostra vita. Così nel proporre una soluzione ad un altro individuo, anche se indubbiamente ognuno di noi è depositario di una base logica di partenza, molto spesso il nostro atteggiamento è quello di essere emotivamente e retoricamente persuasivi, autopersuasivi al fine di tranquillizzarci, oppure spesso confusivi per timore delle conseguenze di un ragionamento logico che pure saremmo in grado di applicare, o ancora possiamo convincerci dell'esattezza di un ragionamento per adesione affettiva alla persona che l'ha espresso o per simpatia verso un tipo di soluzione che soddisfa istanze psicologiche di tipo emotivo quando non addirittura ci accade di essere strenui sostenitori di una soluzione stereotipata per mancanza di reali conoscenze e rifiuto di ammetterlo. Non vogliamo con questo soste-

nere che risolvere problemi in situazioni interattive non sia anche molto spesso il rigoroso adeguamento delle nostre emozioni ai vincoli della logica. Però, ad esempio, quella che viene chiamata nella teoria del problem-solving ristrutturazione di campo, non rappresenta sempre un modo per lavorare all'interno di un nuovo spazio che renda i termini del problema più chiari, ma anche la costruzione di mondi che siano emotivamente plausibili e accettati.

Su queste tematiche negli ultimi anni molti ricercatori hanno sviluppato un lavoro di approfondimento proponendo anche soluzioni alternative e comunque conflittuali con la classica rigidità dei sistemi informatici tradizionali. Ad esempio in uno studio ormai classico sulle resistenze psicologiche all'uso dei calcolatori Nickerson (1981) ha posto l'accento sul fatto che utenti esperti e non esperti necessitano di ausili diversi dal punto di vista dell'espressione linguistica. Egli osserva che i non esperti hanno bisogno di messaggi da parte del computer che siano espressi in linguaggio naturale e che siano auto-esplicativi, mentre i più esperti preferiscono disporre di messaggi che siano codificati e coerenti con il loro tipo di organizzazione mnemonica. Questo è solo un esempio dei tanti suggerimenti emersi di recente nell'ambito dello studio sul modello dell'utente. Sempre a proposito delle differenti necessità interattive in diversi tipi di utenti, Reid (1985) osserva come disporre di più menù di scelta sia particolarmente utile nel caso di utenti novizi. Tale possibilità riduce, in questi, la quantità di informazione da ricordare nella « navigazione » all'interno di programmi complessi mentre sembra essere non gradita perché poco elegante e soprattutto lenta in utenti esperti. Tali osservazioni sottolineano quindi l'importanza di progettare sistemi che siano abbastanza flessibili da adattarsi ad utenti con differenti livelli di expertise, dotati di diversi stili comunicativi sistemi diversificati da inserire in cicli produttivi dalle caratteristiche diverse, temi questi, come notano Maguire (1982) e Edmonds (1982), non ancora sufficientemente presi in considerazione nella progettazione di interfacce uomo-macchina. Ciò dovrebbe quindi implicare innanzi tutto un preliminare lavoro di ricerca non solo sul modello mentale dell'utente ma anche sulle modalità e i tempi di apprendimento (Schneider, 1984) sulle aspettative (Reid, cit.) di questa nuova situazione di interazione. Una impostazione di questo genere situerebbe, come sostiene Thomas (1984), l'insieme dei fattori ergonomici in una prospettiva di migliore produttività e al contempo di maggiore piacevolezza della condizione di lavoro. Questa condizione è ben descritta per esempio anche in un lavoro di Coombs e Alty (1984), i quali hanno rilevato attraverso opportuni questionari la fondamentale in-

soddisfazione di un ampio campione di popolazione universitaria nel suo rapporto con i consulenti di un centro di calcolo. A dispetto degli ottimi risultati realizzati dagli utenti in termini di efficaci soluzioni dei loro problemi informatici, l'insoddisfazione, notano Coombs e Alty, va ricercata nel tipo di interazione, caratterizzata dalla tendenza da parte dei consulenti a farsi raccontare il problema e fornire una soluzione senza partecipare all'utente i processi di ragionamento messi in atto per la soluzione stessa. In questo caso è ovvio che l'accento va posto non tanto sulla possibilità per l'utente di vedere risolto il proprio problema, ma sulla necessità tipicamente umana di comprenderne i processi sottostanti. Questa ricerca pone già nel suo titolo « un paradigma alternativo per i sistemi esperti » una questione assai diversa da quella centrata sulla necessità di conoscere i processi di comprensione e di ragionamento per costruire un sistema ottimale ed efficiente. Anche se nel caso citato gli utenti interagivano con altri umani (i consulenti) e non con macchine, la loro richiesta, ma vorremmo dire la loro rivendicazione era una specie di controllo democratico delle ragioni dello scambio informativo tradotto in termini psicologici. Su questa linea si muovono anche Hasling e coll. (cit.), i quali sostengono che uno dei requisiti fondamentali in un sistema esperto è costituito dalla possibilità del sistema stesso di offrire spiegazioni intorno al suo agire. Gli autori della ricerca insistono sull'importanza dell'uso di un linguaggio di rappresentazione dei processi di ragionamento umano attraverso il quale sarebbe più propriamente traducibile la formalizzazione del modello per la guida dei sistemi. Questa strada, già battuta da Shortliffe (1976), e Davis (1976), a proposito dell'organizzazione cognitiva messa in atto in una consultazione medica, si basa su una semplice struttura di scopi e regole di inferenza, e pone con forza il problema di differenti modelli dell'utente al fine di generare una spiegazione che tenga conto delle conoscenze e degli stili espressivi dell'utente.

A questo punto ci sembra significativo ribadire quella che appare come un'evidenza psicologica e che tuttavia in una prospettiva fortemente funzionalista sembra essere quasi un paradosso. Gli schemi di ragionamento e le tecniche di soluzione dei problemi degli umani, così come le strategie messe in opera nello svolgimento di un compito non sono affatto lineari, e per dispendioso che possa essere, è necessario tenerne conto nella costruzione di sistemi. Come ha ben mostrato Hollnagel (1983), si può comunemente osservare che gli utenti di sistemi informatici, gli operatori, ma anche più in generale le persone comuni, usano spesso strategie operative scarsamente ottimali senza essere consapevoli del perché. Molto spesso vi sono delle in-

versioni nei percorsi di ragionamento, si passa cioè da una strategia all'altra nel mezzo dello svolgimento di un compito e ciò induce facilmente in errore, rallenta l'esecuzione eppure questa modalità comportamentale risulta largamente condivisa e il più delle volte accettata. Il problema sarebbe comunque quello di spiegare come e perché avvengano questi corto circuiti, perché i comportamenti operativi siano così poco lineari. Su questa tematica dei modelli dell'utente molti dei sistemi esperti più noti hanno impegnato buona parte della loro intelligenza per guadagnare in flessibilità. Così, sfruttando una metodologia assai comune nei sistemi di apprendimento intelligente, Langlotz e Shortliffe (1983), sono in grado di mostrare differenze significative fra soluzioni dell'utente e quelle del loro sistema, chiedendo prima all'utente di risolvere il problema stesso e confrontando successivamente il risultato ottenuto con quello proposto dal programma. In *Guidon*, Clancey (1981), usa un modello nel quale la conoscenza di uno studente è strutturata come un subset di ciò che è conosciuto dall'esperto. Strettamente collegato al tema del modello dell'utente è il problema della comprensibilità delle spiegazioni. Infatti, anche se le spiegazioni, come tutte le comunicazioni, hanno componenti strutturali, esse devono poter essere adattate a diverse caratteristiche degli utenti. In *Text*, Mc Keown (1982) esamina le tecniche retoriche che servono a creare schemi capaci di codificare aspetti della struttura del discorso. In questo modo *Text* è capace di descrivere la stessa informazione in modi diversi per differenti scopi del discorso. Da ultimo una recente rielaborazione del classico *Mycin* è rappresentata da *Neomycin*, (Clancey, Letsinger, 1981), che si propone di sviluppare una conoscenza di base che faciliti il riconoscimento e fondamentalmente la spiegazione delle strategie diagnostiche. La possibilità di usare a qualsiasi livello del sistema domande del tipo « dove ? », « come ? », « perché ? » sia in backward che forward chaining, oltre all'uso di metaregole, consente di considerare *Neomycin* come un sistema finalizzato in maniera specifica alla spiegazione dei suoi comportamenti.

Questa breve rassegna sembra sufficiente per indicare l'importanza attribuita dalla ricerca sui sistemi informatici al tema dell'interazione uomo-uomo e uomo-computer. Avevamo tuttavia già accennato in precedenza al fatto che esiste una accezione « forte » del termine interazione, con il quale si caratterizzano quei comportamenti più strettamente legati ai fattori emotivi e della socializzazione. Senza voler cadere in un esasperato psicologismo, è possibile sostenere che gli schemi cosiddetti « razionali » di cui facciamo uso quotidianamente per la lettura della realtà sono soltanto una componente dell'insie-

me di risorse che costituiscono la nostra attività psichica. Il nostro pensiero risulta fortemente influenzato dal colore dei ricordi, dalle aspettative sul futuro, dalle peculiari caratteristiche delle nostre intenzioni, dalle fantasticherie, dai sogni ad occhi aperti. Tutti questi aspetti della nostra vita di umani socializzati, i vissuti emotivi, sono molto spesso soggettivi non generalizzabili per questo sono stati per molto tempo trascurati anche in letteratura, non è quindi strano che siano ancora assenti non solo nella costruzione ma anche nella progettazione di sistemi informatici.

Una buona base di partenza per l'approfondimento di questi temi è costituita da un recente saggio di Malone (1984). Partendo dalla constatazione che i giochi elettronici esercitano solitamente una forte attrazione sulle persone che li utilizzano, l'autore si propone di trarre insegnamenti dai diversi tipi di Computer Games nella progettazione di interfacce gradevoli per gli utenti. In primo luogo pertanto è necessario domandarsi per quale motivo questi programmi siano generalmente così seducenti. Per rispondere a questa domanda l'autore analizza in una serie di ricerche sperimentali che hanno per oggetto vari tipi di giochi le caratteristiche salienti, e i correlati psicologici della loro piacevolezza: il tipo di musica che li accompagna, la stimolazione della fantasia, la tensione per la scoperta delle soluzioni, l'autoaffermazione del giocatore. Da questa analisi è possibile estrarre tre elementi principali che dovrebbero, a parere dell'autore, caratterizzare anche i sistemi informatici adoperati non a scopo di divertimento; le caratteristiche sono: la sfida, la fantasia, la curiosità. Senza entrare troppo in dettaglio sulle applicazioni possibili di questi concetti, appare chiaro che la base motivazionale di una buona parte delle attività umane dovrebbe possedere qualità di questo tipo per non trasformarsi in una ripetizione alienante di comportamenti automatizzati. Nel caso della fantasia per esempio, si può facilmente immaginare che essa possa rapportarsi, nell'architettura di una interfaccia, al livello delle emozioni e a quello dell'uso di metafore, così come la curiosità può efficacemente servirsi come suoi motori di effetti particolari, sia visivi che uditivi. Lungi dall'apparire una stravaganza, la proposta di Malone ci sembra perfettamente adattabile a modelli organizzativi che pur introducendo al loro interno tecnologie informatiche avanzate, non accettino di trasformarle in ulteriori fattori di disagio.

Si pensi alle condizioni che favoriscono l'insorgenza di stress e le conseguenti risposte psicosomatiche, come funzioni di una organizzazione del lavoro e dell'ambiente che non tiene conto delle determinanti psicologiche dei nostri comportamenti (Moch-Sibony, 1984).

In questo senso si muovono molte ricerche volte ad evidenziare l'importanza dei fattori psicologici nel rapporto fra uomo e computer. Shneiderman (1980), ad esempio, ha mostrato come l'ansia e una serie di fattori attitudinali incidano pesantemente sull'apprendimento dell'uso dei computer da parte di soggetti inesperti. Eason e Damodaran (1981), hanno analizzato gli effetti della motivazione degli utenti nei processi di apprendimento all'uso delle macchine, e sempre Shneiderman indica come l'ansia riduca la capacità della memoria a breve termine e il livello della performance. Tutti questi fattori di disturbo e di difficoltà nell'apprendimento risultano particolarmente evidenti in chi inizia ad accostarsi all'uso di un computer (Paxton, Turner, 1984), e nel caso di soggetti adulti James (1984) ha dimostrato che il rispetto della privacy, inteso come possibilità di accostarsi ad un oggetto ancora sconosciuto e caricato di valenze non sempre positive, diventa un elemento importante nel training. A differenza dei bambini, che come l'autore ha potuto registrare, e come del resto è nell'esperienza di tutti noi, mostrano un approccio sostanzialmente positivo al computer, gli adulti sembrano accostarsi con una specie di diffidenza, quasi a percepirne il carattere di potenziale trasformatore di rapporti sociali e lavorativi consolidati. I risultati di una ricerca che abbiamo svolto sull'introduzione di computers in una istituzione sanitaria (Brighetti, Contento, 1985) confermano che sono questi i fattori che maggiormente inducono diffidenza nei potenziali utenti di sistemi informatici.

Naturalmente quando parliamo di difficoltà degli adulti nell'interazione con il computer, è necessario distinguere classi di persone diverse per istruzione, grado di responsabilità, motivazioni. Resta comunque il fatto che la progettazione di sistemi, per dimostrarsi all'altezza del prodotto che si vuole usare, deve tener conto anche di fattori squisitamente psicologici.

Come ha osservato Nicholas Negreponce, le cui posizioni sono state di recente ampiamente riportate dalla stampa¹, la comunicazione umana presenta una tale gamma di sfumature e una tale ricchezza espressiva che una interazione veramente importante fra uomo e macchina non potrà nel futuro non tener conto degli aspetti più specificamente umani degli scambi interattivi. Aggiunge Negreponce a proposito degli strumenti di questa interazione che gli outputs sonori delle macchine ad esempio hanno più a che fare con l'espressività

1. Giornata dedicata alla *computer graphics* dalla Federazione delle associazioni scientifico tecniche (« Il Corriere della Sera », « Il Manifesto », 17 apr. 1985)

musicale che con il trattamento di segnali, e la grafica su display deve prendere in considerazione i linguaggi del cinema, della fotografia, delle arti grafiche.

Senza alcuna intenzione polemica nei confronti di quanti dedicano i loro sforzi alla ottimizzazione in senso funzionale di sistemi informatici, ci sembra di poter dire che l'ideale di una interazione pulita e priva di rumore è fortemente contraddittorio con le più naturali modalità comunicative. Forse una comunicazione di questo genere non può nemmeno esistere, ad esclusione naturalmente della trasmissione di segnali in condizioni artificiali nelle quali non sono contemplati scopi interattivi. Probabilmente soltanto un computer che esegua per esempio funzioni di controllo, può essere definito l'ente in grado di ricevere un input dal mondo esterno, elaborarlo e restituire una risposta senza essere turbato dalla forma e dalle funzioni di ciò o di chi trasmette l'input, dalla sua funzione sociale, dalla sua collocazione in una rete di rapporti. Quando però si pensa ad uno scambio comunicativo che coinvolge sì macchine ma anche uomini, le cose cambiano radicalmente. In questo caso il valore puramente informativo di una comunicazione diventa un'astrazione, qualcosa che non trova riscontro nella realtà degli individui e del nostro mondo. Quando diciamo « amichevolezza » delle interfacce, l'uso di questo aggettivo non può essere sottovalutato poiché la sua pregnanza psicologica non rimanda a funzioni di ottimizzazione e funzionalità. Non è infatti sempre detto che ciò che è funzionale ed ottimizzato sia amichevole, cioè coerente con una funzione anche emotiva. In questo senso lo stesso concetto di « felicità della comunicazione », di cooperazione, di logica della cortesia, postula una comunicazione magari tranquilla, chiara non ripetitiva, ma scarsamente interessante perché asettica, incapace ad esempio di suscitare qualsiasi curiosità o di sviluppare possibilità fantastiche da condividere. Ora, una comunicazione che non stimoli curiosità e fantasia potrà anche darsi nella vita di relazione, e di fatto si dà nel caso di molte comunicazioni scientifiche dalle caratteristiche esclusivamente tecniche. Simili tipi di comunicazione, anche quando risultino funzionali ai loro scopi, mostrano una forte analogia con il lavoro della catena di montaggio caratterizzando una conversazione troppo rigidamente fissata di monotonia, ripetitività, alienazione. Per fortuna, anche per le comunicazioni più tecniche e rigide, esistono quasi sempre o una forte motivazione a comprendere, che introduce già un'ampia gamma di correlati emotivi dello scambio, oppure una serie di sovrascopi legati a quello della pura e semplice comprensione, quando non addirittura una funzione di tipo estetico-psicologico quale quella rappresentata dal piacere

per la bellezza e l'eleganza di una dimostrazione matematica o di una argomentazione logica. In questi casi siamo al livello più formalizzabile di una comunicazione fra individui, eppure anche qui motivazioni ed emozioni, e quindi qualcosa di esterno in un certo senso a processi di pura organizzazione logica della conoscenza entrano in gioco. Ciò non significa evidentemente una irruzione dell'irrazionale nello scambio informativo, le regole che tuttavia presiedono a questo tipo di relazioni non sono solo della logica formale e dei processi deduttivi. Sembra allora ancor più plausibile sostenere che i tipi di comunicazione, anche quando posseggano caratteristiche informative tecniche, per il solo fatto di svolgersi all'interno di una determinata organizzazione del lavoro e dei rapporti sociali, siano intrinsecamente caratterizzati da una gamma molto ampia di rumorosità, di interferenze, di fattori di disturbo. Qui sta però il punto centrale e forse la paradossalità della nostra ipotesi. Questo rumore invece di creare difficoltà alla comunicazione, di impedirne una ricezione corretta è al contrario fattore determinante di gradevolezza e di ricchezza comunicativa poiché contestualizza l'informazione. Una comunicazione pulita, per assurdo che possa sembrare, produce, almeno sul medio e lungo periodo minori effetti positivi di quanto pare essere in termini di organizzazione e recupero di significati e conoscenze. Naturalmente, e ci preme sottolinearlo, escludiamo da questo tipo di argomentazioni tutti quegli output comunicativi che implicano una presa di decisione estremamente rapida pena gravi conseguenze, monitoraggi, allarmi, informazioni semplici che si riferiscano ad eventi che hanno luogo in tempi precisi e sono finalizzati a scopi specifici. Pensiamo invece a situazioni sempre più frequenti di « coabitazione » con mezzi informatici; è il caso ad esempio di sistemi esperti che debbano essere inseriti in processi produttivi all'interno dei quali si svolge la vita organizzata di molte persone. Nei casi di un'isola produttiva in fabbrica, un ufficio, una scuola, una divisione ospedaliera, un gruppo di progettazione architettonica, un centro di ricerca, il rapporto con il computer non potrà possedere caratteristiche troppo diverse da quelle del rapporto con i colleghi e i vicini, se non si vuole correre il rischio di introdurre nuove e sofisticate forme di insoddisfazione e di frustrazione. Con questo non si vuole sostenere che un computer interattivo debba avere le caratteristiche di un video-gioco nell'ipotesi minima o di un replicante nell'ipotesi massima, ma probabilmente la riflessione sulle interfacce deve poter partire da una analisi molto concreta delle abitudini comunicative tra utenti siano essi reali o potenziali.

Sulla base di quanto detto finora risulta quindi fondamentale l'ap-

profondimento di tematiche finalizzate ad una maggiore e migliore usabilità del software. Una attenta analisi di stile, struttura e contenuto del dialogo utente-macchina come formulata da Hammond e Barnard (1985) è sicuramente essenziale per una precisa definizione del contesto cognitivo di questo particolare scambio interattivo, ma è impossibile sostenere che con essa si esauriscano tutte le componenti del contesto comunicativo. Se è vero che il lavoro e naturalmente la ricerca che è anch'essa un lavoro, rappresentano non soltanto strumenti della produzione ma anche inscindibilmente veicoli di socializzazione e di crescita sociale e politica, allora in esso tutto ciò che ha a che fare con processi informativi deve essere analizzato anche sulla base delle problematiche psicologiche, pragmatiche e politiche. Il problema della interazione uomo-computer si presenta, in questa ottica, come campo privilegiato della ricerca interdisciplinare poiché intorno ad esso si giocano le possibilità di una grande trasformazione produttiva e sociale che spetta a noi tutti controllare e rendere veicolo di creatività, di partecipazione e di democrazia.

Riferimenti bibliografici

- F C Bartlett (1958), *Thinking: an Experimental and social study*, Allen & Unwin, London.
- G. Brighetti, S Contento (1985), *Tecnologie informatiche in una istituzione sanitaria: training, software dedicato, interazione utenti-macchine, relazione al workshop «Usabilità del software: esperienze e metodi di validazione»*, Società italiana di ergonomia Cnr, Roma, 19-20 dic. (in corso di stampa)
- W.J. Clancey, R. Letsinger (1981), *Neomycin: Reconfiguring a rule-based expert system for application to teaching*, in «Proceedings of the Seventh Ijcai», pp. 829-836
- W.J. Clancey (1981), *Methodology for building an intelligent tutoring system, Technical Report*, Stanford University, (Stan-CS-81-894, HPP-81-18).
- A.M. Collins, M.R. Quillian (1972), *How to make a language user*, in E. Tulving, W. Donaldson (eds.), *Organization of memory*, Academic Press, New York.
- A.M. Collins, E.F. Loftus (1975), *A spreading activation theory of semantic processing*, «Psychological Review», 82
- M. Coombs, J. Alty (1984), *Expert systems: an alternative paradigm*, «International Journal of Man Machine Studies», 20, pp. 21-43.
- R Davis (1976), *Applications of meta-level knowledge to the construction, maintenance and use of large knowledge basis*, PhD Thesis, Stanford University (July) (Stan-CS-76-552, HHP-76-7).
- K.D. Eason, L. Damodaran (1981), *The needs of the commercial user*, in M. Coombs, J. Alty (eds.), *Computing Skills and the user interface*, Academic Press, New York.

- E. Edmonds (1982), *The man-computer interface: a note on concept and design*, « International Journal of Man Machine Studies », 16, pp 231-236
- N. Hammond, P. Barnard (1985), *Dialogue design: Characteristics of User Knowledge*, in A Monk (ed), *Fundamentals of Human-Computer Interaction*, Academic Press, London
- W.D. Hasling, W.J. Clancey, G. Rennels (1984), *Strategic explanations for a diagnostic consultation system*, « International Journal of Man Machine Studies », 20, pp 21-43.
- E. Hollnagel (1983), *What we do not know about man-machine systems*, « International Journal of Man Machine Studies », 18, pp. 135-143.
- E.B. James (1984), *The user interface: how we may compute*, in M. Coombs, J Alty (eds), cit.
- C. Langlotz, E.H. Shortliffe (1983), *Adapting a consultation system to critique user plans*, *Technical Report*, Stanford University (April) (HPP-83-2).
- M Maguire (1982), *An evaluation of published recommendations on the design of man-computer dialogues*, « International Journal of Man Machine Studies », 16, pp. 237-261.
- T.W. Malone (1984), *Heuristics for designing enjoyable user interfaces: lessons from computer games*, in J.C. Thomas, M L Schneider (eds), *Human factors in computer systems*, Ablex, Norwood.
- K.R. Mc Keown (1982), *Generating natural language text in response to questions about database structure*, PhD Thesis, University of Pennsylvania, published by University of Pennsylvania as Technical Report (MS-CIS-82-5).
- A. Moch-Sibony (1984), *Aspects cognitifs des stress de l'environnement*, « Le Travail Humain », 47, n 2, pp. 155-163.
- U. Neisser (1976), *Cognition and reality*, Freeman and Company, San Francisco; tr. it., *Conoscenza e realtà*, Il Mulino, Bologna, 1980.
- R.S. Nickerson (1981), *Why interactive computer systems are sometime not used by people who might benefit from them*, « International Journal of Man Machine Studies », 15, pp. 469-483
- A.L. Paxton, E.J. Turner (1984), *The application of human factors to the needs of the novice computer user*, « International Journal of Man Machine Studies », 20, pp 137-156
- P. Reid (1985), *Work Station Design, Activities and Display Techniques*, in A. Monk (ed.), cit
- E. Rosch (1977), *Human Categorization*, in N. Warren (ed.), *Studies in cross-cultural Psychology*, vol 1, Academic Press, New York.
- M.L. Schneider (1984), *Ergonomic considerations in the design of command languages*, in Y. Vassiliou (ed), *Human Factors and Interactive Computer Systems*, Ablex Publishing Corporation, Norwood, N.J.
- B. Shneiderman (1980), *Software psychology: human factors in computer and information systems*, Winthrop, Cambridge, Mass.
- E.H. Shortliffe (1976), *Computer based medical consultation: Mycin*, Elsevier, New York
- J.C. Thomas (1984), *Organizing for Human Factors*, in Y. Vassiliou (ed.), cit
- D.D. Woods (1984), *Visual momentum: a concept to improve the cognitive coupling of person and computer*, « International Journal of Man Machine Studies », 21, pp. 229-244.

4. INTELLIGENZA ARTIFICIALE E CONTROLLO SOCIALE

di Achille Ardigò

1. Il tema degli sviluppi informatici più avanzati, nella direzione della cosiddetta « Intelligenza Artificiale » – d'ora in poi: IA – in rapporto al controllo sociale è, nella sua specificità relazionale, più una ricerca di documentate ipotesi, un *problem finding* che non un *problem solving*.

Anche per l'accelerazione enorme che le ricerche di IA hanno avuto, in questa prima metà degli anni ottanta, l'IA è entrata in una fase bilanciata tra le più avanzate sperimentazioni in laboratori universitari o parauniversitari e la nutrita commercializzazione di numerose applicazioni nella forma di programmi di *expert system* di IA in moltissimi campi applicativi: sia per usi militari che civili, sia in settori produttivi ed estrattivi e di ricerca commerciale che per funzioni selettive-amministrative nelle amministrazioni di ogni tipo, sia nelle telecomunicazioni e nei controlli dei traffici di ogni tipo come nelle professioni anche liberali, sia per supporti alle decisioni come per la formazione e l'aggiornamento di qualificato personale.

Oggi, insomma, l'IA è un settore delle scienze computazionali che ottiene i suoi risultati più riconosciuti – e però anche i più esposti al vaglio di una diffusa utilizzazione – nella produzione di programmi di *software* tentativamente capaci di simulare attività mentali umane anche solo nel limitato senso di elaborare nuove conoscenze inferendole da altre già memorizzate.

Sebbene entusiastiche siano state le previsioni in merito, dalla fine degli anni '70, la commercializzazione di programmi di Intelligenza Artificiale non è – al pari della commercializzazione delle biotecnologie – ancora sicura nei suoi esiti mercantili, persino in Usa. Sono inoltre ricorrenti le manifestazioni di perplessità che si nutrono per l'avvicinarsi della fase di maturità della disciplina senza indiscussi successi scientifici.

È tuttavia, tematizzare il rapporto fra IA e controllo sociale è opportuno e tempestivo. Ricerche scientifiche, di base ed applicate, con grossi finanziamenti di R. & S., sia pubblici che privati e collaudando degli sperimentati prototipi, avvengono in un numero sempre maggiore di laboratori non solo universitari di tutte le nazioni avanzate d'Occidente, pur se con particolare concentrazione negli Stati Uniti e nel Giappone. È vero che le prospettive di realizzazione del progetto giapponese per il computer di 5^a generazione sono oggi meno ottimistiche del previsto¹. Ma la cultura dell'IA, che si espande con capillarità anche favorita da mode, è essa stessa il primo fattore di diffuso mutamento culturale, anticipante su programmi e macchine di IA, anche se talora con l'effetto di mettere a nudo le debolezze epistemologiche di partenza e però di sospingere la ricerca verso nuove fondazioni meno empiristiche.

Anche la mia esposizione rifletterà quello che io considero l'aspetto diseguale e ambivalente della tematica. Ad una prima impostazione del *problem finding*, con la presentazione di alcuni fatti di supporto, seguirà una proposta di ipotesi più generali e prospettiche.

2. Credo che il primo passo, in un approccio molto sperimentale e iniziale, sia quello delle definizioni dei due concetti e della loro connessione.

2.1. Cominciamo dal concetto di « Intelligenza Artificiale ». Il termine compare la prima volta nella tesi di dottorato in matematica di Marvin Minsky presentata a Princeton nel 1952. La sperimentazione effettiva è avvenuta in poco più di un quarto di secolo, con un'accelerazione enorme dalla fine degli anni '70 in poi – quanto a persone ed a finanziamenti impegnati.

Finora le più note realizzazioni dell'Intelligenza Artificiale si sono tradotte, come s'è accennato, in sistemi *esperti*, capaci di trattare e arricchire, mediante tecniche inferenziali e regole di produzione, conoscenze e informazioni, esatte ed inesatte, attorno a specifici ambiti scientifici, professionali, educativi ed operativi, specie in riferimento a *problem solving*².

1. Cfr. in proposito, S.K. Yoder, *Japan stumbles in bid to be the first to build supersmart computer*, « The Wall Street Journal », 26 ago.

2. Per una bibliografia essenziale e recente sui « sistemi esperti di intelligenza artificiale », cfr. J.L. Alty, M.J. Coombs, *Expert Systems Concepts and examples*, NCC, Manchester, 1984, v. pp. 83-176; A. Barr, E.A. Feigenbaum, *Handbook of artificial intelligence*, 2 voll., William Kaufman, Los Altos, vol. 1, 1981; vol. 2, 1982; v. vol. 2, chapter VIII, pp 175-192; W. Clancey, E.A.

Nel corso di un processo interattivo uomo-macchina, l'utente può ottenere consigli argomentati e documentati, prodotti ex novo dalla macchina programmata con IA, o può affidare al sistema esperto una parte più o meno larga dei processi diagnostici, valutativi e decisionali, che egli deve svolgere. Naturalmente il tutto a partire da regole e dati già memorizzati e però anche con l'impiego di capacità deduttive ed intuitive, più o meno automatiche, da parte del « sistema esperto » all'interno dell'ambito o dominio programmato.

Questa linea interpretativa « debole » avvicina l'IA ad un buon database relazionale integrato con linguaggi inferenziali di tipo logico (ad esempio, *Lisp* e *Prolog*) tanto che si potrebbe – come realisticamente ha suggerito qualcuno – definire « intelligente ogni processo che è in grado di arrivare a conclusioni che contengono più informazione di quante non ne siano presenti nei dati di partenza o input ³.

2.2. Per *controllo sociale* nella sociologia e, credo anche nelle altre scienze sociali, s'intende l'insieme dei processi sociali, *media* comunicativi, sanzioni, monopolio della forza fisica, ecc., mediante i quali un gruppo o una società provvedono a regolare il funzionamento del proprio sistema di vita così da salvaguardare la propria identità sistemica in rapporto all'ambiente. Si tratta di un insieme di processi più o meno istituzionalizzati rivolti sia a prevenire sia a ripristinare un certo assetto sistemico, riparando i danni che siano nel frattempo accaduti per impatti ambientali o disfunzioni interne.

Anche in questo caso, è molto problematico andare oltre, nella definizione, perché esistono almeno due differenti concezioni del sistema sociale e del relativo apparato di controllo sociale – pur all'interno dei sociologi funzionalisti:

Shortliffe, *Readings in artificial intelligence in medicine*, Addison-Wesley, Reading, 1983; M. Fieschi, *Intelligence artificielle en médecine*, Masson, Paris, 1984; P. Haimon, D. King, *Expert Systems. Artificial Intelligence in Business*, John Wiley & S, New York, 1985, v pp. 134-175; T.M. Lazzari, F.L. Ricci, *I sistemi esperti. Ricerca scientifica ed applicazioni*, La Nuova Italia, Roma, 1985, v cap. 5, pp. 54-90; F.L. Ricci, A. Rossi Mori, O. Stock, *I sistemi esperti come possibili strumenti per l'aiuto alla decisione in medicina*, « Medicina e informatica », n. 2, mag 1984; P. Szolovits, *Artificial intelligence in medicine*, Westview Press, Boulder, 1982.

3. Cfr. P. Violi, *Umano non umano. Il pensiero informatizzato Storia, problemi e futuro dell'intelligenza artificiale in un convegno a Pisa*, « Il Manifesto », 16 set. 1984.

- 2.2.1. vi è quella di T. Parsons, secondo la quale il sistema societario deve estendere il controllo sociale anche alle motivazioni individuali in quanto connesse all'esercizio di propri ruoli o di aspettative verso ruoli altrui;
- 2.2.2. vi è quella di N. Luhmann, secondo la quale il sistema sociale deve limitare il controllo alla sola persistenza dell'identità del sistema sociale e dei suoi confini non più fisici, rispetto agli input sempre più eterogenei provenienti dalle singole persone o dai piccoli gruppi, assunti come ambiente (e perciò da non integrare nel sistema). Per Luhmann, il sistema sociale può usare solo media di controllo come il denaro, la legge positiva, la riflessività comunicativa ma autoreferenziale chiusa e in extremis la forza; non l'amore, non la verità, la convinzione morale, la socializzazione delle motivazioni.

Vi è poi l'altra dicotomia: fra controllo omeostatico (il cui fine è il ritorno del sistema all'equilibrio pre turbativa) e il controllo omeoretico che può portare ad amplificare la deviazione iniziale di una data struttura, fino al punto di allontanare stabilmente il sistema dalla condizione iniziale ed operare un cambiamento del principio di organizzazione sociale, ma non dell'identità sistemica. Entrando anche solo per qualche flash sul terreno del controllo sociale nel sottosistema politico-statale, dovremmo interrogarci attraverso quali vie i media comunicativi del controllo societario: leggi positive, denaro e forza pubblica, si esercitino oggi e con quali priorità e con quali variazioni nel tempo e nello spazio.

Vi è poi tutta la problematica della legittimazione o legalizzazione del controllo sociale, con particolare attenzione ai principi democratici e di libertà civili e politiche.

Una definizione ambigua esiste a questo proposito ed è quella di Michel Crozier. Secondo il quale:

utilizzando il concetto di controllo sociale cerchiamo di trattare come equivalenti, e sostituibili dal punto di vista dei risultati, tutti i mezzi grazie ai quali una società, un insieme sociale, o piuttosto delle persone che la compongono in quanto insieme collettivo strutturato, riescono a imporre a se stessi, il mantenimento di un minimo di conformità e di compatibilità nelle loro condotte⁴.

4. M. Crozier, *La crise des regulations traditionnelles*, in H. Mendras (a cura di), *La sagesse et le desordre France 1980*, Gallimard, Paris, 1980, pp. 371-387, v. p. 372

3. Quali ipotesi formulare sul nesso fra IA e controllo sociale, con particolare attenzione?

Le risposte in linea ancora molto introduttiva possono essere diverse. Vediamone alcune.

3.1. L'IA (o parte di essa):

3.1.1. è – o si prevede che sia – *causa* di controllo sociale. Il che significa che l'accrescimento dell'efficacia del controllo sociale sarebbe l'effetto degli stessi progressi delle ricerche di IA e delle applicazioni strumentali, indipendentemente dalle volontà dei *policy makers* addetti al controllo societario;

3.1.2. è – o si prevede che sia – *effetto* di accresciute necessità di controllo sociale da parte dei *policy makers* delle società di riferimento. Secondo questa ipotesi, tanti investimenti pubblici e privati di R. & S. in IA sarebbero stati operati perché sollecitati dai maggiori *policy markers*, al fine di integrare o di sostituire altri *media* di controllo sociale divenuti obsoleti o per rispondere a nuovi bisogni selettivi e di controllo, a scopi militari, di amministrazioni pubbliche o di mercato. In tale ipotesi, l'accrescimento di finanziamenti specie se pubblici o di grandi corporations, per portare le ricerche di IA in direzioni diverse da quelle fondamentali perseguite spontaneamente per almeno tre lustri solo in laboratori universitari, sarebbe un indicatore della causazione voluta dai *policy makers* cui compete il controllo sociale nelle società di riferimento;

3.1.3. è – o si prevede che sia – *correlata* (in tutto o in parte) al controllo sociale e viceversa, ma secondo processi condizionati da una doppia contingenza, in forme e con modalità non riconducibili a spiegazioni causali unidirezionali. In questa ipotesi, le fenomenologie del reciproco impatto dell'IA e dei *media* e metodi di controllo sociale praticati vanno accertate empiricamente, senza trascurare – in singoli contesti – anche ipotesi di correlazione negative, o deboli, sebbene l'interfacciamento positivo sia da prevedersi come probabile.

4. Non potendo portare risultati di dirette ricerche e misurazioni, per verificare qualcuna delle tre ipotesi di connessione mi limiterò a raccogliere qualche informazione su fatti, ad avanzare qualche interpretazione e aprire degli interrogativi.

Alcune informazioni su fatti.

4.1. Una delle maggiori agenzie del controllo sociale, deputate alla difesa dei confini nazionali, in una delle nazioni imperiali del mondo,

e cioè il Pentagono degli Stati Uniti, ha dato e ancora più sembra orientata a dare, il maggior contributo finanziario alle ricerche di IA, specie al Mit di Boston e alla Stanford University di California.

Insieme col Pentagono, concorrono al finanziamento di progetti di IA anche alcuni tra i maggiori fornitori del Pentagono, quali le imprese Hughes Aircraft, Raytheon, e Martin Marietta. Il Pentagono ha già almeno un sistema esperto chiamato Beta per i suoi servizi segreti⁵.

Nel 1983, il dipartimento della difesa degli Stati Uniti ha stanziato ben seicento milioni di dollari per la ricerca di base nell'informatica. Due tesi alternative si sono subito contese la distribuzione prioritaria dei fondi. V'era chi sosteneva che occorresse privilegiare la progettazione di nuovo hardware per fare concorrenza ai giapponesi che stanno da alcuni anni concentrando i loro sforzi per produrre il computer di 5ª generazione. L'altra tesi era di coloro, tra cui il Nobel Herbert Simon ed E. Feigenbaum, che sostenevano la priorità allo sviluppo del software che simuli i processi mentali. Dopo forti discussioni, il direttore del Darpa (Defence Advanced Research Project Agency che è emanazione dell'Office of Naval Research Contract della Difesa Usa) 'assegnò' la maggior parte di questi fondi ai progetti di ricerca dei secondi, cosiddetti specialisti di intelligenza artificiale⁶.

4.2. Per poter usare queste informazioni a fini indiziari di esistente connessione tra IA e controllo sociale, supposto che il Pentagono sia una delle principali agenzie di controllo sociale, occorre domandarsi se gli investimenti dell'Arpa in IA siano ben fondati e razionali.

Una risposta positiva che circola negli ambienti dell'agenzia di controllo suddetta è che tali investimenti lo sono in quanto alleviano diretti controlli umani, riducendone gli errori. Il ricorso anche a sistemi di IA, sarebbe in altri termini legittimato dalla esigenza di prevenire e ridurre le cresciute probabilità e rischiosità degli errori umani di fronte alla crescente complessità delle macchine anche nel campo della difesa. Si cita, ad esempio, il fatto che, nel corso di otto mesi, tra il 1979 e il 1980, ben tre falsi allarmi sono scattati al controllo strategico aereo della Nato, scavato nelle montagne Cheyenne, nel Colorado; quel controllo che riguarda la difesa strategica nucleare nei confronti dell'Urss. Nel primo falso allarme, ci fu l'errore di un ope-

5. Cfr. *Cover Story*, « Business Week », 9 lug. 1984.

6. Cfr. G.C. Rota, prof. di matematica e filosofia applicata al Mit di Cambridge (Mass.), *Osservazioni sull'intelligenza artificiale*, Conferenza tenuta all'Università di Bologna, lug. 1985, Clueb, Bologna, 1986.

ratore, nel secondo ci fu un guasto in un circuito integrato. Il terzo fu dovuto alla ricerca per accertare sperimentalmente le condizioni del secondo. Per fortuna i tre allarmi furono cancellati entro pochi minuti ma si ricavò la lezione seguente:

un sistema che può letteralmente portare alla fine del mondo deve essere disegnato molto accuratamente. Occorre interfacciare – si disse – tra le macchine e l'uomo qualche sistema di controllo, ad intelligenza artificiale, non impressionabile come l'uomo e programmato per rapidissimi controlli automatici di verifica degli allarmi⁷.

Così si è formata nell'attuale strategia del dipartimento della difesa Usa, l'esigenza che il Low (*Launch-warning*) il lancio su allarme, del contrattacco missilistico contro l'Urss sia arricchito da sistemi di controllo di IA.

4.3. La tendenza sembra si sia ulteriormente rinforzata con l'Sdi per il quale megaprogetto reaganiano di difesa strategica si dice che uno dei colli di bottiglia sia la difficoltà di apprestare l'hardware e il software dei controlli informatici, anche di IA, adeguati. Difficoltà che dipenderebbe anche dal fatto della scarsa convenienza delle *corporation* private del settore alle trasformazioni aziendali necessarie per accettare commesse in merito, stante la prevedibile scarsa ricaduta commerciale degli output. Troppo distanti sarebbero le innovazioni tecnologiche richieste per l'Sdi dalla domanda del mercato.

4.4. Va peraltro aggiunto che su tutta questa linea espansiva, in profondità e in ampiezza, della quota dei controlli cibernetici automatici su processi decisionali militari, di vita e di morte per l'umanità, è iniziata una riflessione critica che si alimenta di stimoli morali e scientifico-culturali volontari. Proprio per dibattere e agire su questi ardui temi, è sorta negli Usa un'associazione chiamata: *Computer professional for Social Responsibility* che collega scienziati interessati all'informatica in genere e a ricerche di IA in specie, per approfondire i legami tra minacce di sterminio nucleare e questo campo di studi⁸.

4.5. Un altro fatto, assai minuscolo rispetto al primo, riguarda l'incentivazione, da parte di un'agenzia militare della Nato, di appli-

7. Cfr. D. Michie, R. Johnston, *The Knowledge Machine. Artificial intelligence and the future of man*, W. Morroz & Co., New York, 1985, pp. 66-67.

8. Da «New Scientist», 25 ott. 1984; tr. it. in «Se, Scienza Esperienza», dic. 1984.

cazioni di IA – anche mediante simulazioni – per ridurre gli errori umani di decisori sotto stress, nella fattispecie di comandanti militari chiamati a decidere ad esempio, come controllare e reagire efficacemente, in presenza di contingenze minacciose e catastrofiche⁹.

Come si vede, il ricorso a programmi e apporti di IA per controllare situazioni di errore umano in circostanze stressanti – e di decisori alle prese con sistemi tecnici complicati – non si limita all'introduzione di controlli cibernetici automatizzabili ma anche si rivolge a perfezionare la predicabilità della condotta dei comandanti in situazioni eccezionali.

Secondo uno studioso olandese, esperto della Nato, risulta che « dal 70 al 100% degli incidenti in sistemi tecnici sono causati da errori umani. Di essi, dal 30 al 40% circa per violazioni di regolamento. La parte restante risultando dovuta ad errori nel processo informativo e decisionale »¹⁰.

4.6. Un altro insieme di fatti riguarda la diffusione in corso di sistemi esperti di IA nelle agenzie governative Usa a scopi di automatizzazione almeno in parte, per la verifica di coerenza di dichiarazioni aventi rilevanza fiscale. Un sistema esperto sarebbe già in funzione presso la *Securities and Exchange Commission* per il controllo delle dichiarazioni delle società per azioni. Anche l'*Internal Revenue Service* spera di sviluppare un sistema esperto per l'assistenza mediante procedure automatiche inferenziali nel controllo delle dichiarazioni dei redditi¹¹.

5. Come noto, uno dei settori, dopo quello militare, in cui la diffusione anche commerciale di *packages* di IA, è assai promettente è quello medico-sanitario, specie relativo a reparti specialistici di ospedale e a laboratori clinici. (Sull'argomento, cfr. i capp. 5 e 6 di questo libro). E sulla funzione di controllo sociale della riorganizzazione medico-sanitaria c'è una abbondante letteratura sociologica a partire dal contributo ormai classico di T. Parsons¹²

9. Cfr. J.T. Dockery, J. van den Driessche, *Use of artificial intelligence and psychology in the analysis of command and control*, Nato, technical memorandum STC TM-749, feb 1985.

10. Cfr. G. Keren, *Consideration of behavioral aspects for a simulation model of a C2 network*, allegato al memorandum di cui alla precedente nota, p 227

11. Cfr. W.M. Bulkeley, *Expert Systems*, «The Wall Street Journal», 11 feb. 86

12. Cfr. T. Parsons, *La struttura sociale e il processo dinamico: il caso della professione medica*, in T. Parsons, *Il sistema sociale*, Comunità, Milano, 1965, pp. 437-489.

6. Vorrei accennare, infine, ad un altro settore in cui la diffusione già notevole dell'informatica potrebbe presto estendersi ad applicazioni di Intelligenza Artificiale anche mediante sistemi esperti. Mi riferisco anzitutto alla simulazione di processi decisionali politici, di politica estera ed interna, anche col supporto della teoria dei giochi, e della valutazione euristica delle posizioni dei « giocatori » politici. Tentativi di simulazione basati su IA, per processi decisionali di politica estera, sono stati già compiuti¹³.

Ma saranno soprattutto le campagne elettorali di importanti candidati e la propaganda politica in genere, a vedere le applicazioni più rilevanti, sotto il profilo della legittimità o meno del controllo sociale e dell'eguaglianza politica dei cittadini, delle innovazioni informatiche in genere e di programmi di sistemi esperti di IA in specie.

In proposito, ciò che è avvenuto, all'interno dello staff reaganiano e del partito repubblicano in genere nelle ultime presidenziali è tale da far prevedere accelerati sviluppi applicati anche con strumenti di IA.

Due anni prima delle elezioni presidenziali Usa, il partito del presidente Reagan ha installato un sistema computazionale costruito dalla Digital, che ha lavorato ininterrottamente, prima ad immagazzinare statistiche strategiche e indirizzi e ogni informazione disponibile sugli avversari e poi a diffondere propaganda « personalizzata ». A sovrintendere a tale servizio è stato costituito un Comitato nazionale repubblicano per i servizi computerizzati.

Sempre il Comitato nazionale ha memorizzato i risultati delle ultime dieci elezioni per il rinnovo delle camere oltre che per le presidenziali, incrociando tali dati con quelli dei censimenti e con altre informazioni demografiche nonché con risultati di sondaggi di opinione.

Gli strateghi repubblicani hanno, inoltre, messo a disposizione dei propri candidati, ben 50.000 tra giudizi, discorsi ed articoli, informatizzati, concernenti i maggiori leader democratici.

Si è poi proceduto alla raccolta postale di fondi con lettere personalizzate.

La spesa per la propaganda politica è stata poi subordinata alle informazioni incrociate così ottenute. Una particolare attenzione è stata rivolta a differenziare messaggi e comunicazioni agli elettori, secondo i « gruppi speciali » ricavati dall'incrocio dei dati informatizzati.

13. Cfr. ad es., P.A. Anderson, S.J. Thorson, *Systems simulation. Artificial Intelligence based simulations of foreign policy decision making*, « Behavioral Science », vol. 27, 1982, pp. 176-193.

Per dichiarazione del presidente dell'organizzazione del GOP della California, poiché in California la contesa elettorale era molto incerta, il centro organizzativo GOP ha costruito una lista di 2,4 milioni di famiglie pro-repubblicane nello Stato, sondandole direttamente per sapere da ciascuna di esse se intendevano votare per posta. Nel qual caso, l'organizzazione provvedeva al disbrigo degli adempimenti¹⁴.

L'informatizzazione della politica con anche applicazioni di IA, nei paesi tecnologicamente avanzati ed a maggiore complessità del corpo elettorale, è pertanto prevedibile che porterà – insieme con altri fattori – a ridefinire i processi costitutivi del sistema politico, aprendo nuovi interrogativi, in positivo e in negativo, sul futuro della democrazia nelle società post-industriale. La prevedibile uscita di computer dalle architetture nuove, con potentissime memorie e velocità, della dimensione di un personal, porterà ad accentuare la informatizzazione di conoscenze sulla vita degli individui e dei gruppi, nelle mani dei maggiori poteri economici e politici.

È però anche vero che l'opinione pubblica si va facendo di pari passo più avvertita e diffidente. Lo attestano alcuni recenti fenomeni massicci di vera e propria obiezione di coscienza informatica, nei confronti di fogli troppo analitici su dati personali, contenuti nel censimento olandese del 1981 e ancor più nei confronti di quello tedesco-occidentale del 1983. Nel caso tedesco, l'obiezione di coscienza di parte dell'opinione pubblica e di organi della medesima, su richieste di dati censitari penetranti nella *privacy* dei cittadini, ha ottenuto anche una sentenza favorevole della Corte costituzionale della Germania federale.

7. Credo che, anche se parzialissima, la mia esposizione di fatti e tendenze incoraggi a ritenere che il tema in esame è rilevante, specie ai fini delle difese dei diritti umani e civili e delle sollecitazioni per il disarmo e per la pace.

Le tre ipotesi generalissime, enunciate al punto 3, a proposito del nesso fra IA e controllo sociale, ricevono tutte dei supporti indiziari molto consistenti.

Vediamo di ragionare attorno ad esse, a partire da quella più corposa.

7.1. L'accelerazione di attenzioni alla ricerche di IA, anche a quelle di base, da parte del Pentagono, proprio nel periodo in cui massima è stata l'iniziativa di ripresa dell'egemonia strategica nord-

14. Cfr. « Business Week », 5 nov. 1984

americana sull'Urss attraverso l'innovazione scientifico-tecnologica, fa ritenere che una ipotesi di, intenzionale almeno, relazione causale tra sviluppi di IA ed esigenze di un controllo sociale addirittura planetario non sia da scartare.

Gran parte del dibattito forte, che divide oggi le comunità scientifiche universitarie nel settore dell'IA, non solo negli Stati Uniti, dà motivo a mantenere ed a verificare l'ipotesi causale.

Quel che è certo è che gli stessi centri universitari « top-rated » per le ricerche di IA – quali quelli del Mit, di Stanford, di Carnegie-Mellon, di Pittsburg, di Berkeley, negli Stati Uniti, o l'Icot giapponese (Istituto di tecnologia per i computer di nuova generazione, o in misura minore gli istituti più efficienti di informatica, cibernetica e robotica dell'Europa occidentale, inclusi quelli italiani, divengono nuove dislocazioni di potere. Nuove compenetrazioni anche fisicamente si avvertono in queste sedi di ricerca, tra scienziati puri, spesso giovani, militari e manager di grandi imprese.

Quali che siano i destinatari delle proprie ricerche, le maggiori centrali universitarie di ricerca di IA tendono anch'esse a divenire detentrici di controllo sociale. Esse si trasformano in imprese, al cui interno – è vero – è possibile la libertà di ricerca individuale pure per le imprese intellettuali più astratte e disinteressate, ma entro i vincoli delle politiche finanziarie e produttive, prevalentemente gestite dai manager universitari.

Credo peraltro che, dove ognuno di questi centri universitari ha saputo esprimere un proprio management forte ed autorevole, l'ipotesi causale, in cui la causa sia dalla parte dei finanziatori, potrebbe non essere così reale come oggi appare.

In ogni caso, se la società post-industriale si va caratterizzando per l'importanza strategica, vero e proprio nuovo principio di organizzazione, della conoscenza scientifico-tecnica telematizzata, non c'è dubbio che anche le lotte per il potere e per la successione delle élites passano attraverso l'intreccio di queste centrali del sapere che si sono potute persino affrancare negli Usa dalla legittimazione mercantile, in virtù del keynesismo militare reaganiano. Convivente con la *deregulation*.

7.2. Il trattamento selettivo e con automatismi inferenziali delle informazioni memorizzate, anche ai fini della diffusione a scala mondiale, attraverso banche dati, teleconferenze, ecc. contiene elementi che possono dare credito pure all'ipotesi causale reciproca a quella sopra illustrata.

Sebbene gli sviluppi nelle matematiche, nelle logiche cognitive

e nei linguaggi di IA (specie il *Prolog*) stiano facendo decadere il monopolio degli algoritmi nella programmazione informatica di IA, è sostenibile l'ipotesi che la stessa diffusione dell'IA è causa di controllo sociale.

Il linguaggio di IA, la sua capacità inferenziale di trattamento dei dati già introdotti in memoria informatica, è ipotizzabile come causa di controllo sociale.

La pluralità dei linguaggi, e dei dialetti di ogni linguaggio di IA costituisce, è vero, ancora un'ostacolo alla globalizzazione dei sistemi informativi e cognitivi, specie se concentrati in basi dati e in sistemi esperti. Ma vi sono alcuni tratti salienti, alcuni codici tecnologici e simbolici di programmazione che già oggi, all'interno condizionano modi di pensare e di comunicare, specie tra studiosi e utenti di IA.

8. Non vorrei concludere questa relazione senza svolgere alcune considerazioni attorno ai prevedibili impatti dell'IA su quell'aspetto della tematica organizzativo-politica che concerne la polarità accentrato-decentramento.

Sono in molti ad interrogarsi oggi su quale sarà l'impatto della rivoluzione telematica e di IA, in pieno corso, sulle sorti e le trasformazioni della democrazia, anzitutto nell'Occidente più avanzato, come in generale sui modi di vita e di lavoro. E ciò in ordine anzitutto alla distribuzione dell'autorità e del potere.

I problemi che si aprono a chi si rivolge a questi temi sono tali da mettere presto in luce la profonda ambiguità dei prevedibili impatti dell'innovazione scientifico-tecnologica-produttiva in esame, anche relativamente alla dicotomia fra accentramento e decentramento.

I computer, la telematica, la rivoluzione dei software informatici in attesa delle nuove architetture del computer di quinta generazione, in corso di faticoso approntamento (per una informatica di secondo livello, quella dell'Intelligenza Artificiale utilizzabile in linguaggio naturale) da quale parte dello spartiacque faranno cadere il peso maggiore? Dalla parte dell'accentramento o del decentramento?

Osservo che una risposta che si avvicini di più al probabile reale prossimo venturo dovrebbe essere cauta nell'accettare l'aut-aut della povera scelta binaria. È molto probabile che le nuove tecnologie-scienze-forze produttive abbiano esiti di forte ambivalenza *privilegiando ad un tempo la centralizzazione dei processi decisionali, pubblici o privati, e insieme maggiori decentramenti non solo di mercato, maggiori controlli decentrati sulle scelte centralizzate, ma anche maggiori partecipazioni estensive e però di cittadini bene informati anche se*

non *policy makers*.

Del resto, già oggi la società nord-americana presenta questa ambivalenza di centralizzazione statale (non aliena da protezionismi) interfacciata a quella di grandi *corporations* private, da un lato, e di *deregulation* e di mercato fortemente competitivo, dall'altro.

Credo comunque, che sull'accelerarsi della centralizzazione dei processi decisionali che contano, per ricerca e sviluppo, sia in campo militare che pubblico che privato commerciale che di ricerca scientifica, variamente intrecciati ai vertici, l'impatto dell'informatica di IA sia per lo più di tipo accelerativo strumentale.

L'informatica in genere e l'IA in specie possono, pur tra le enormi resistenze interne alle pubbliche amministrazioni nei confronti della diffusione di innovazioni di tale potenza, favorire, soprattutto, la programmazione amministrativa sulle orme della programmazione commerciale.

Non a caso, la fine della politica di programmazione poliennale anche con supporti legislativi non ha segnato la fine della ricerca di programmazioni amministrative ed economiche e di coordinamento previsionale di attività interdipendenti, pubbliche e private di maggiore rilievo e accentramento decisionale. Semmai, tale programmazione e concertazione sono state sottratte a controlli di democrazia rappresentativa malgrado la copiosità delle leggi e leggine scarsamente incidenti sui processi informali di concertazione di vertice. Leggi e leggine spesso anticipate dalle decisioni finanziarie per la R. & S.

Purtroppo, tra gli scopi della nuova centralizzazione non sembrano essere molto presenti, in Occidente, quelli della lotta contro gli effetti perversi (imprevisti e indesiderati) connessi allo stesso progresso economico-produttivo – quali l'inquinamento, l'invecchiamento relativo accelerato della popolazione, la solitudine involontaria, la congestione del traffico con il carico di morti violente che comporta, la devianza criminale, ecc.

La centralizzazione, che significa anche anticipazione temporale nelle decisioni che contano, si è invece sviluppata, e ancor più si svilupperà con l'aiuto delle nuove tecnologie, nei processi decisionali maggiori dell'economia capitalistica e del governo della cosa pubblica, quanto più tali decisioni divengono interconnesse e sempre più inserite in un processo di cosmopolitizzazione.

I sistemi politici nazionali, almeno nei paesi europei, a fatica difendono le loro autonomie territoriali e le loro procedure spesso arretrate di controllo nei confronti del mercato e delle nuove asimmetrie internazionali create dall'impasto di potere economico privato,

di comunicazioni, di informazioni a scala internazionale.

Eppure, proprio le nuove tecnologie, se gestite con efficacia e legittimazione, potrebbero garantire nuovi strumenti per controllare che le azioni delle singole organizzazioni, anche multinazionali, siano conformi alle norme pubbliche. Le nuove tecnologie favoriscono – come ha scritto il premio Nobel per l'economia Herbert A. Simon – l'obiettività dei processi di decisione e rendono pienamente esplicite le premesse di fatto e di valore che entrano in esse.

(...)

In questo modo, i computer potrebbero facilitare – e già hanno facilitato – una partecipazione più estensiva sia di esperti che di laici nei dibattiti sulla politica, non tanto fornendo mezzi per esprimere opinioni non informate ma aiutando le opinioni e [i controlli] ad essere meglio informati ¹⁵.

Herbert A. Simon ci ha detto che ciò che conterà di più nei controlli democratici, entro società complesse, sarà la informazione, la presenza di cittadini *bene informati* anche se non specialisti. Aggiungiamo pure che sarà la velocità dell'informazione decentrabile. Di qui il rilievo che per una buona informazione assume il ricorso all'informatica e alla telematica, il ricorso a mezzi i quali – pur selettivi nei confronti della maggioranza dei cittadini – possono fornire a democratici aggiornati strumenti di controllo, di proposta, di progettazione. Ma il rapporto per via informatica, tra élites di cittadini partecipativi e istituzioni politico-amministrative e politiche in genere, non può essere unidirezionale. Si possono anche moltiplicare referendum, con o senza computer, ma ciò conterà poco se non crescerà, in misure ben maggiori che non in media oggi, il servizio informativo alla popolazione, sia in quanto utente di singoli servizi pubblici sia in quanto detentrica della titolarità della scelta elettorale.

« La relazione tra democrazia politica – ha scritto di recente I.L. Horowitz – e nuova tecnologia non è in alcun modo uniforme o meccanicistica » ¹⁶.

Ciò tuttavia non può allentare l'attenzione dei democratici (un poco ansiosa) per quanto sta avvenendo, nel passaggio da un tipo di

15. Cfr. H.A. Simon, *The consequences of computers for centralization and decentralization*, in M.L. Dertouzos, J. Moses (eds.), *The Computer Age: A Twenty-Year View*, The Mit Press, Cambridge (Mass.), 1980, pp. 212-228, v. p. 227.

16. Cfr. I.L. Horowitz, *Views on print, computers and democratic societies*, « The Virginia quarterly review », 1983, ristampata in « Dialogue », 1984, n. 4, pp. 67-70, v. p. 70.

organizzazione sociale ad un'altra, da un prevalente impatto di forze produttive ad un altro. Le libertà civili e politiche, come le regole democratiche della governabilità sono sfidate dalle nuove forme di potere con sempre più sofisticati supporti informatici. Di qui la rilevanza di una responsabilizzazione democratica all'uso, per controlli diffusi, anche delle nuove strumentazioni; di qui l'importanza anche del coinvolgimento di scienziati e tecnici del settore, nella attivazione di un'opinione pubblica su tali temi, nella sensibilizzazione alle responsabilità morali e politiche di quanti sono operatori di ricerca scientifica e di progresso tecnologico.

Parte seconda

1. STRUTTURA E ORGANIZZAZIONE DEI SISTEMI ESPERTI

di Aurelio Boari, Paola Mello

1. Premessa

Negli ultimi tempi lo studio dell'Intelligenza Artificiale è diventato di notevole interesse non solo in campo accademico, ma anche in campo industriale. Le motivazioni di tale interesse possono essere individuate soprattutto nel crescente sviluppo di sistemi esperti nei più svariati settori. Scopo di questo lavoro è presentare, in modo volutamente semplificato, una introduzione ai sistemi esperti che ne enuclei le principali caratteristiche architettoniche.

2. Definizione di sistema esperto

È importante sottolineare che lo sviluppo di un sistema esperto è solo un particolare campo applicativo dell'Intelligenza Artificiale, il cui settore di intervento copre campi quali: comprensione del linguaggio naturale, riconoscimento di immagini, robotica, programmazione automatica, ecc.

Anche se sono state date molte differenti definizioni del termine sistema esperto quella più soddisfacente può essere considerata la seguente (Barr, Feigenbaum, 1981):

È definito sistema esperto un programma che usa esplicitamente una conoscenza specializzata ed empirica per risolvere problemi che dipendono tradizionalmente da esperti umani.

Ne segue che la conoscenza inserita in un sistema esperto è normalmente imprecisa e non inquadrabile in modelli formali; tale co-

noscenza non può essere codificata in un programma tradizionale, come un insieme di istruzioni prefissate e rigide, ma deve essere rappresentata esplicitamente per consentire il suo utilizzo nella generazione dinamica della soluzione per differenti problemi. Inoltre tale conoscenza deve essere facilmente aggiornabile esattamente come la conoscenza di un esperto evolve e si modifica all'aumentare della sua esperienza lavorativa. In questo senso i sistemi esperti possono essere considerati particolari sistemi basati sulla conoscenza (Barr, Feigenbaum, 1981).

Le specifiche che un sistema esperto deve soddisfare sono tipicamente quelle richieste ad un esperto di un particolare dominio e possono essere così riassunte:

Consistenza e completezza

Un sistema esperto deve essere in grado di dare risposte appropriate nel campo applicativo nel quale è stato progettato e su tale campo applicativo, generalmente abbastanza ristretto, non può mancare di conoscenza specializzata.

Flessibilità ed estensibilità

Un sistema esperto deve essere aggiornabile con notevole semplicità, anche, teoricamente, da un utente non-programmatore senza richiedere una completa riprogrammazione. Infatti, mentre un programma tradizionale viene progettato per rimanere possibilmente immutato durante il suo tempo di vita, in un sistema esperto la conoscenza inserita deve essere modificata dinamicamente. I sistemi esperti sviluppati fino ad ora, grazie ad una organizzazione architetturale estremamente modulare, (si veda il par. 3), consentono in modo relativamente semplice, l'aggiunta incrementale di conoscenza. Ai sistemi esperti della odierna generazione risulta però ancora di difficile attuazione l'aggiornamento automatico della base di conoscenza in base all'esperienza (*learning*).

Gradevole interfaccia utente e capacità di spiegazione

Un sistema esperto deve interagire, normalmente, con un utente finale non programmatore. Per questo motivo l'interfaccia deve essere particolarmente semplice e curata per consentire un colloquio con l'utente al giusto livello di astrazione, possibilmente in linguaggio naturale.

Inoltre il sistema esperto deve essere in grado di spiegare ad alto livello il proprio comportamento per tre motivi fondamentali:

- a. in generale l'esperto umano non può e non vuole accettare passivamente il responso del sistema esperto, ma vuole conoscere esattamente la linea di ragionamento seguita per arrivare alla soluzione, per confrontarla con le sue conoscenze;
- b. data la complessità del sistema la scoperta di errori, contraddizioni, incompletezza nella base di conoscenza può essere rilevata caso per caso durante il suo effettivo utilizzo. A differenza di un programma tradizionale, per un sistema esperto la fase di *debugging* non è limitata alla fase di progettazione, ma dura per tutto il suo tempo di vita. Solo mediante un potente meccanismo di spiegazione possono quindi essere individuati e corretti errori nella base di conoscenza;
- c. la spiegazione di come il sistema esperto è arrivato alla soluzione consente una forma, anche se non molto evoluta, di addestramento per non-esperti, in quanto consente di esplicitare le modalità con cui sono stati risolti determinati problemi.

Come è già stato messo in evidenza precedentemente i domini in cui un sistema esperto può essere applicato sono i più disparati. Una soddisfacente classificazione tratta da (Hayes-Roth e al., 1983) può essere la seguente:

- a. Interpretazione: si analizzano dei dati complessi e potenzialmente « rumorosi » per la determinazione del loro significato. Tipici sistemi esperti in tale campo sono *Dendral* (Lindsay e al., 1980), in grado di individuare la struttura chimica di una molecola dai dati rilevati da uno spettrografo di massa e *Hearsay-II* (Erman e al., 1980) progettato per la comprensione del parlato.
- b. Diagnosi: si analizzano dati potenzialmente rumorosi per la determinazione di malattie od errori. Tipico esempio è il sistema esperto *Mycin* utilizzato per suggerire diagnosi e cure per pazienti affetti da malattie infettive del sangue (Shortliffe, 1976).
- c. Monitoring: in questo caso i dati si interpretano continuamente per la generazione di allarmi in situazioni critiche. Al sistema è richiesta una risposta in tempo reale soddisfacente e l'efficienza diventa una importante specifica.
- d. Planning: si determina una sequenza intelligente di azioni per raggiungere un determinato obiettivo. Tipico esempio è il sistema esperto *Molgen* (Stefik, 1981) che pianifica esperimenti biologici di laboratorio.
- e. Previsione: si desidera costruire un sistema in grado di prevedere il futuro (in economia, politica ecc.) in base ad un appro-

priato modello del passato e del presente.

- f. Progetto: il sistema esperto, in questo caso, deve essere in grado di progettare sistemi partendo da ben determinate specifiche. Tipico esempio è il sistema esperto *R1* (McDermoth, 1982).

Caratteristica di tutti questi domini è avere un vasto spazio di soluzioni possibili, fra cui si deve cercare una soluzione per tentativi.

3. Struttura generale di un sistema esperto

La struttura generale di un sistema esperto può essere schematizzata come segue:

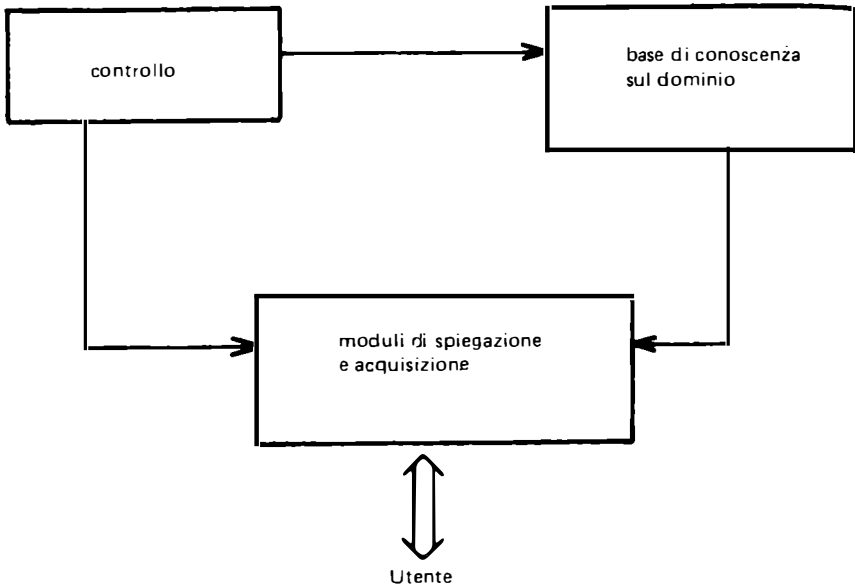


Fig. 1 - Organizzazione schematica di un sistema esperto

A differenza di un programma tradizionale, in cui la conoscenza sul dominio è unita indissolubilmente alle modalità con cui utilizzarla in un unico codice, in un sistema esperto, a causa della necessità di alta modularità, conoscenza sul dominio e sul controllo sono entità completamente separate: dinamicamente, in base al tipo di problema sottoposto, il controllo è in grado di decidere come uti-

lizzare la conoscenza sul dominio per arrivare ad una soluzione soddisfacente. Esiste poi un modulo di spiegazione che, interfacciandosi col controllo è in grado di ricostruire e spiegare l'albero di ricerca che ha portato alla soluzione e un modulo di acquisizione che consente, interagendo in modo più o meno sofisticato con la conoscenza sul dominio, il suo aggiornamento, verifiche di consistenza ecc.

3.1. Sistema esperto come sistema di produzione

Tipicamente la conoscenza di un esperto in un determinato dominio è costituita da fatti che racchiudono la conoscenza di base dell'esperto e da regole che esprimono relazioni fra differenti entità e racchiudono sia l'esperienza più generale e formalizzata sul dominio (quella spesso contenuta in libri specializzati), sia l'esperienza più personale ed empirica del singolo esperto.

Molti sono i metodi di rappresentazione della conoscenza che sono stati proposti in letteratura (IEEE Computer, 1983; Minsky, 1975; Woods, 1975; Davis e al., 1977; Forgy, 1981); gran parte dei sistemi esperti utilizzano fatti e regole di produzione per rappresentare la conoscenza sul dominio e sono dunque facilmente esprimibili col formalismo dei sistemi di produzione.

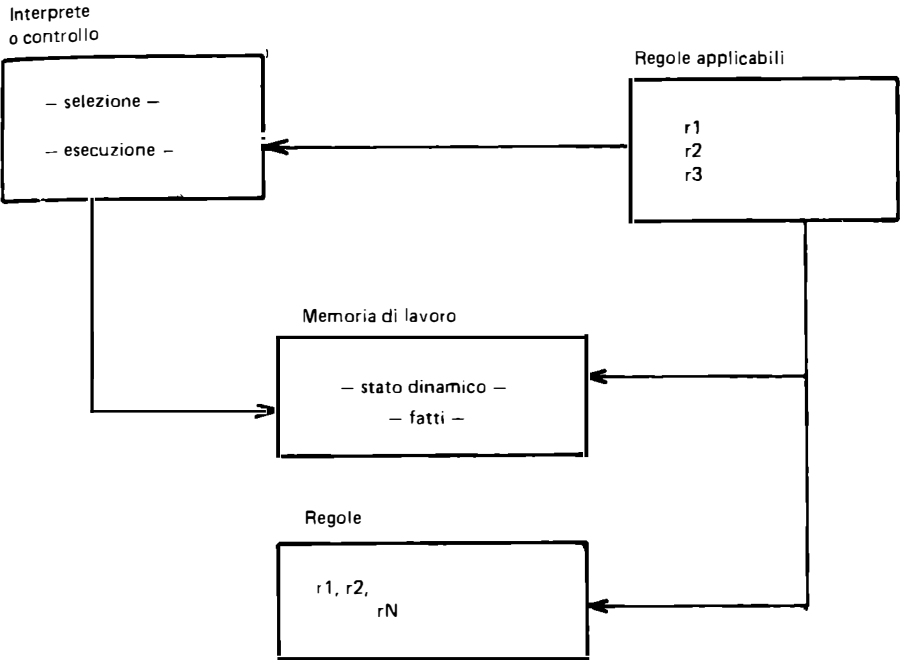


Fig. 2 - Architettura generale di un sistema di produzione

Adottando il formalismo dei sistemi di produzione la fig. 1 precedente, viene ulteriormente dettagliata come si vede nella fig. 2.

La strutturazione di un sistema di produzione prevede tre livelli di organizzazione:

1. database di fatti globali (assimilabile all'idea di dato di un programma tradizionale) o memoria di lavoro;
2. database di operatori (regole di produzione) che agiscono su tali fatti (assimilabili all'idea di procedura di un programma tradizionale);
3. controllo o interprete del sistema di produzione, che decide dinamicamente come applicare le regole di produzione al database di fatti per generare la soluzione.

Una regola di produzione ha la forma:

- a. *se* (antecedenti) *then* (conseguenti)

ovvero:

- b. *se* (condizioni) *then* (azioni)

dove la parte subito seguente la parola chiave *se* esprime le condizioni che devono essere verificate nella memoria di lavoro affinché la regola sia applicabile, mentre la parte seguente la parola chiave *then* esprime quello che verrà eseguito dall'interprete all'atto dell'effettiva applicazione della regola; nuovi fatti ritenuti veri nel caso a) verranno aggiunti nella memoria di lavoro, speciali azioni (ad esempio attivazione di sensori, chiamate di procedure, modifica dinamica di fatti) verranno eseguite nel caso b).

Ad esempio un fatto (contenuto nella memoria di lavoro) potrebbe essere espresso dalla frase:

« la temperatura corporea normale è di 36-37 gradi centigradi », mentre regole generali potrebbero essere usate per esprimere la seguente conoscenza euristica:

« Se c'è asfissia, praticare la respirazione artificiale » oppure

« Se il paziente è allergico agli antibiotici, sono controindicati i seguenti medicinali... ».

Il controllo, responsabile della individuazione delle regole applicabili, nonché della loro selezione ed esecuzione, compie la seguente sequenza di operazioni spesso definita come ciclo di « riconoscimento-azione »:

- a. *Match*: valuta le regole di produzione per determinare quelle applicabili (cioè con antecedente vero in caso di sistema forward) in base al contenuto corrente della memoria di lavoro. L'operazione con cui si compie tale verifica viene denominato pattern-matching ed è dipendente dal tipo di rappresentazione scelta per fatti e regole. Consiste nel determinare, in caso di si-

stema organizzato *forward* (si veda nel seguito la sua definizione), quando una condizione di una regola e un elemento della memoria di lavoro possono coincidere; se la condizione contiene variabili, esse potranno essere legate ad elementi della memoria di lavoro che potranno poi essere referenziati e modificati all'esecuzione della parte conseguente della regola stessa;

- b. *Conflict Resolution*: seleziona una regola di produzione fra quelle applicabili con alcuni criteri che dipendono dal dominio di applicazione; se non esistono regole di produzione applicabili l'interprete si ferma;
- c. *Act*: le azioni specificate nel conseguente della regola di produzione applicabile selezionata al punto precedente vengono eseguite e la memoria di lavoro viene congruentemente modificata;
- d. si ritorna al punto iniziale.

Normalmente tale ciclo termina con successo quando nella memoria di lavoro compare una particolare configurazione (condizione di terminazione).

La organizzazione del controllo di un sistema di produzione può essere schematizzata come segue:

- a. *forward* o *data-driven*: la memoria di lavoro nella sua configurazione iniziale contiene la conoscenza iniziale sul problema, cioè i fatti noti. Le regole di produzione applicabili sono quelle il cui antecedente può fare *pattern-matching* con la memoria di lavoro (*F-rules*). Ogni volta che una regola viene selezionata ed eseguita nuovi fatti dimostrati vengono inseriti nella memoria di lavoro. Il procedimento termina con successo quando nella memoria di lavoro viene inserito anche il goal da dimostrare (condizione di terminazione).
- b. *backward* o *goal-driven*: la memoria di lavoro nella sua configurazione iniziale contiene il goal (od i goal) del problema. Le regole di produzione applicabili sono quelle il cui conseguente può fare *pattern-matching* con la memoria di lavoro (*B-rules*). Ogni volta che una regola viene selezionata ed eseguita nuovi subgoal da dimostrare vengono inseriti nella memoria di lavoro. Il procedimento termina con successo quando nella memoria di lavoro vengono inseriti fatti noti (condizione di terminazione).
- c. *bidirezionale* o *misto*: è concettualmente la combinazione dei due metodi descritti precedentemente. La memoria di lavoro viene suddivisa in due parti l'una contenente i fatti e l'altra i goal o subgoal; si applicano simultaneamente *F-rules* e *B-rules* alle due parti di memoria di lavoro e si termina il procedimento con

successo quando le due parti coincidono (condizione di terminazione).

La scelta di una delle tre organizzazioni dipende sia dalla struttura della base di conoscenza che dai tipi di interrogazione che possono essere posti. In generale quando lo spazio delle potenziali soluzioni (conosciute a priori) è limitato e numerabile, mentre i fatti sono numerosi per cui la loro acquisizione deve essere interattiva e guidata dal processo di ricerca, l'impostazione backward è preferibile. Tipicamente, dunque, questa è la soluzione adottata in sistemi esperti che eseguono diagnosi (ad esempio *Mycin* e risolvono problemi di classificazione. L'approccio forward è invece preferibile nel caso in cui si abbia uno spazio di soluzioni potenzialmente molto vasto e limitati vincoli sulla sua generazione. Problemi di progettazione ricadono tipicamente in questo caso poiché i possibili progetti che rispettano certe specifiche sono infiniti e comunque non prevedibili staticamente. Per una più approfondita trattazione si consulti (Nilsson, 1980).

4. Un semplice esempio

Nel seguito si riporta a titolo esemplificativo, l'organizzazione di un sistema esperto « giocattolo » che utilizza come rappresentazione della conoscenza regole di produzione e che lavora in modo *backward*.

Si vuole con esso risolvere un semplicissimo problema di diagnostica: prescrivere una medicina in base ai risultati di un esame di laboratorio.

Le regole di produzione potrebbero essere le seguenti (per ogni regola è riportato il suo significato in linguaggio naturale).

Database di regole di produzione:

1. *if gram (pos) then id (strep).*
« Se il risultato dell'esame è "gram-positivo" allora l'identità è "streptococco" ».
2. *if gram (neg) then id (ecoli).*
« Se il risultato dell'esame è "gram negativo" allora l'identità è "enterium-coli" ».
3. *if id (strep) or id (bact) then ind (pen).*
« Se l'identità è streptococco o bactero allora è bene indicare penicillina ».
4. *if ind (?drug) and not (allergic (?drug)) then prescribe (?drug).*
« Se è bene indicare una certa medicina (?drug rappresenta una va-

riabile) e il paziente non è allergico a tale medicina, allora si può prescrivere tale medicina al paziente ».

5. *if id (ecoli) then ind (antb).*

«Se l'identità è enterium-coli allora è bene indicare antibiotici». *askable*: gram e allergic.

La parola chiave *askable* indica che le conoscenze relative al risultato degli esami ed alle allergie dell'utente possono essere direttamente chiesti all'utente quando sono necessari.

Funzionamento base del sistema:

L'obiettivo (goal) del sistema è uno solo: prescribe (?drug), cioè «prescrivere una medicina adeguata per un determinato paziente».

I fatti iniziali sono molto numerosi e dunque è bene domandarli selettivamente all'utente quando necessario, (il sistema li riconosce in quanto dichiarati *askable*). Questa osservazione implica che l'impostazione del problema preferibile sia quella con organizzazione del controllo *backward*.

Una tipica sessione di lavoro si presenterà all'utente come segue:

Esempio di sessione di lavoro:

User: esecuzione.

Sys: È la coltura Gram positiva?

User: NO.

Sys: È la coltura Gram negativa?

User: SI.

Sys: Il paziente è allergico agli antibiotici?

User: No.

Sys: Allora prescriverai una cura a base di antibiotici.

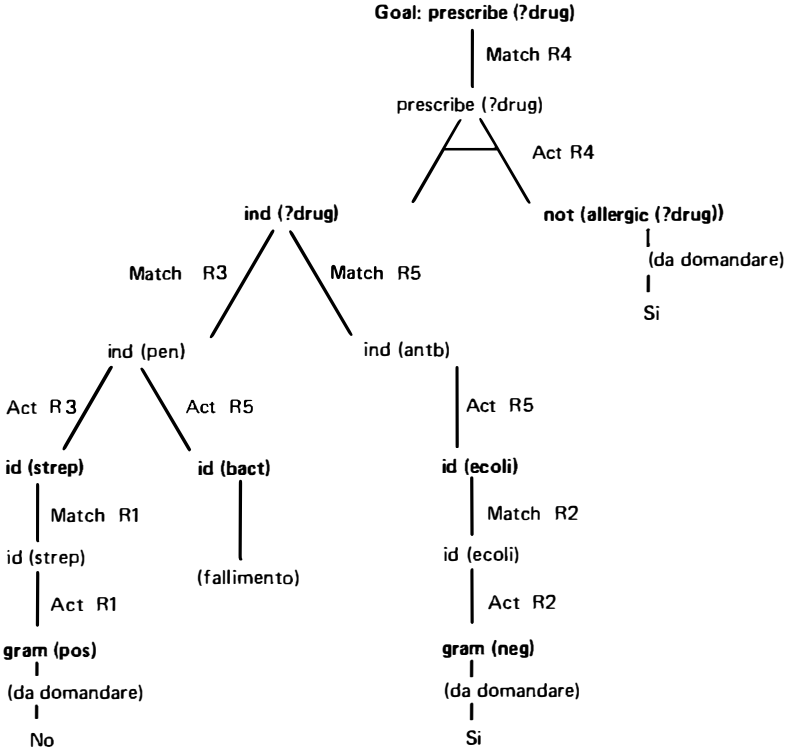
Il funzionamento del sistema e l'attivazione delle regole corrette può essere facilmente visualizzato mediante un albero *and/or* in cui gli angoli acuti tagliati orizzontalmente indicano *and*, quelli non tagliati orizzontalmente *or*.

I nodi in neretto rappresentano i goal e sottogoal che vengono generati dinamicamente; quelli non in neretto i conseguenti delle regole con cui si esegue il *pattern-match*.

Quando al sistema viene sottoposto il goal (in questo caso «prescribe (?drug)») esso cerca nella base di conoscenza sulle regole quelle applicabili, cioè quelle il cui conseguente fa «match» con il goal. In questo caso l'unica regola applicabile è la regola R4 che produce altri due sottogoal da dimostrare (*ind(?drug)* e *not(aller-*

gic(?drug)). Il procedimento si innesca allora per i due nuovi sottogoal fino ad arrivare alla generazione di un fatto vero. La strategia di ricerca seguita nell'esempio è « *depth-first* con *backtracking* » (si veda cap. 6) e quando più regole sono applicabili (*conflict-resolution*) quella selezionata è sempre la prima nell'ordine testuale.

Grafo *and/or*:



Sessione di spiegazione:

Tradizionalmente le capacità esplicative di un sistema di produzione come quello descritto nei paragrafi precedenti, si limitano a due soli strumenti base: *why* e *how*.

Mediante il comando di *why* l'utente finale può chiedere « perché » il sistema ritiene importante conoscere una determinata in-

formazione, mentre con il comando di *how* il sistema è in grado di spiegare « come » è giunto ad una determinata conclusione.

Riferendoci all'esempio, molto semplicemente, ad ogni domanda di *why*, il sistema descrive la regola che ha come antecedente tale informazione, percorrendo a ritroso l'albero *and/or* di ricerca, mentre ad ogni domanda di *how* lo percorre in senso diretto, descrivendo la regola che ha come conseguente tale informazione.

Il sistema è dunque in grado di sostenere una sessione di spiegazione come la seguente:

Sys: È la coltura Gram positiva?

User: *Why?* -- < perché è importante determinare tale informazione? >.

Sys: Tale informazione è di aiuto per determinare se (R2) l'identità dell'organismo è streptococco

< il sistema sta percorrendo all'indietro l'albero AND/OR >

User: *Why?* -- < perché è importante determinare tale informazione? (cioè se l'identità dell'organismo è streptococco) >.

Sys: Tale informazione è di aiuto perché per tale organismo è indicata la penicilina (R3).

< il sistema sta percorrendo ancora all'indietro l'albero *and/or* >

Sys: Allora prescriverai una cura a base di antibiotici

User: *How?* < come puoi concludere tale responso? >

Sys: Ho utilizzato la regola R4: ho prescritto antibiotici poiché sono indicati per tale infezione (premessa 1) e il paziente non è allergico (premessa 2)

< il sistema sta percorrendo in avanti l'albero AND/OR >

User: *How* Premessa 1 ? < come puoi concludere che gli antibiotici sono indicati per tale infezione ? >

Sys: Ho utilizzato la regola R5: sono indicati antibiotici poiché l'organismo che ha causato l'infezione è ecoli.

< il sistema sta ancora percorrendo in avanti l'albero *and/or* >

User: ..

5. « Mycin » ed il trattamento di conoscenza incerta

Mycin (Shortliffe, 1976; Davis e al., 1977), è un sistema esperto che è stato sviluppato da E.M. Shortliffe a partire dal 1972 per assistere il medico nelle decisioni riguardanti la scelta di terapie appropriate nella cura dei pazienti per i quali il sistema esperto ha diagnosticato la presenza di infezioni del sangue.

In particolare il sistema ha come obiettivi:

- decidere se il paziente ha un'infezione che deve essere curata;
- determinare, se sì, quale è probabilmente l'organismo infettivo;

- scegliere fra le medicine adatte per combattere l'infezione quella più appropriata in rapporto alle condizioni del paziente. La conoscenza in *Mycin* è espressa mediante fatti e regole ed è scritta mediante il linguaggio *Lisp*.

I fatti hanno la forma di tuple con quattro valori: (attributo, entità, valore, fattore di certezza).

Il fattore di certezza, un numero intero che varia fra +1 e -1 rappresenta una valutazione sul grado di certezza con cui va assunto e utilizzato il fatto durante il processo di soluzione del problema. In particolare valori positivi confermano la validità del fatto, mentre valori negativi tendono a negare la validità del fatto. In questo modo è possibile esprimere valori intermedi fra la completa validità (FC=1) e la completa falsità (FC=-1) di una qualunque conoscenza. Va sottolineato che tali valori sono introdotti e utilizzati in modo completamente ad hoc, non hanno nulla a che vedere con il calcolo delle probabilità e la loro modalità di utilizzo e combinazione può essere criticabile sia in base a criteri di correttezza che di naturalezza espressiva.

Esempi di fatti espressi in *Mycin* sono:

(*Site culture-1 Blood 1.0*)

(*Ident organism-2 Klebsiella 0.25*)

(*Ident organism-2 E. coli 0.73*)

(*Sensitivs organsm-1 Penicillin -1.0*)

Si noti che l'utilizzo dei fattori di certezza permette l'inserimento di fatti apparentemente contraddittori, ambedue plausibili con differenti valori di certezza (ad esempio quelli riguardanti l'identità dell'organismo-2).

Le regole di produzione di *Mycin* (circa 200) hanno la forma: *premise* (premessa) *action* (azione).

La premessa è espressa sempre come congiunzione (*and*) di una o più condizioni; le condizioni possono essere a loro volta la disgiunzione di una o più condizioni, oppure una funzione applicata ad una tripla (oggetto, attributo, valore).

La azione è espressa mediante una tripla con la sintassi precedentemente descritta.

Ad esempio la seguente regola:

Premise (~~\$and~~ (*same cntxt infect primary-bacteremia*)

(*membf cntxt site sterilesites*)

(*Same cntxt portal g1*))

Action (*cntxt ident bacteroides 0.7*).

Va interpretata come:

- if* (1) the infection is primary-bacteremia, and
 (2) the site of the culture is one of sterilesites, and
 (3) the suspected portal of entry of the organism is the gastro-intestinal tract,
then there is a suggestive evidence (0.7) that the identity of the organism is bacteroides.

«*ident*» «*site*»

Attualmente in *Mycin* sono definite un insieme di 24 funzioni predicative standard (ad esempio *same*, *known* ecc.), circa 80 attributi (ad esempio *ident*, *site* ecc.), e 11 oggetti (*organism*, *culture* ecc.) che costituiscono i componenti primitivi fondamentali per la costruzione della base di conoscenza.

Le regole sono invocate in un modo backward con una ricerca *depth-first* (si veda il par. 6). Dato un goal da dimostrare vengono ritrovate tutte le regole la cui conclusione può fare *match*.

La premessa di ogni regola viene allora valutata ed ogni funzione predicativa ritorna un valore compreso fra -1 e 1 (VA). Si noti che l'operatore di *\$and* esegue una minimizzazione di tali VA, mentre l'operatore di *\$or* esegue una massimizzazione. Per le regole il cui valore complessivo della premessa (VP) è maggiore di 0.2 viene valutata la parte di azione. La conclusione viene allora accettata con un fattore di certezza che corrisponde al risultato di: (VP) (FC della regola).

Si consideri il seguente semplice esempio:

Regole:

R1: if A and B and L then V (FC=0.4)

R2: if A or L then V (FC=0.7)

R3: if Q then L (FC=0.9)

Fatti:

A FC=1

B FC=0.5

Q FC=0.7

Goal:

V

Utilizzando la regola R1 il goal V verrebbe dimostrato con fattore di certezza 0.2 (cioè 0.5 che è il valore minimo degli antecedenti di R1 moltiplicato per 0.4), mentre utilizzando la regola R2 esso verrebbe dimostrato con fattore di certezza uguale a 0.7 (cioè 1 che è il massimo degli antecedenti di R2 moltiplicato per 0.7).

Le regole non valutate con successo vengono scartate, mentre quelle le cui premesse non possono essere direttamente valutate dalle informazioni correnti causano la creazione di un nuovo sotto goal. È importante sottolineare che « valutazione » in questo caso significa semplicemente invocare la funzione *eval* del linguaggio *Lisp*.

Si noti che la strategia di ricerca è esaustiva, nel senso che sono considerate tutte le regole rilevanti per la dimostrazione di un determinato goal. Se, dopo aver tentato tutte le regole rilevanti, un sotto goal non riesce ad essere dimostrato (regole non più applicabili o FC compreso fra -0.2 e $+0.2$) viene domandato interattivamente all'utente. Alcuni goals possono essere subito chiesti all'utente se opportunamente dichiarati (*askable* o *labdata*).

6. Conoscenza sul controllo

Normalmente i problemi che i sistemi esperti devono risolvere sono non deterministici nel senso che in un certo istante più azioni possono essere eseguite ed il sistema deve essere in grado di selezionarne una in particolare. In un determinato istante, in funzione dello stato della memoria di lavoro, più regole di produzione possono essere applicabili (*conflict-set*), ma una sola è selezionata dall'interprete ed eseguita. Risulta evidente che occorre applicare una strategia, cioè utilizzare alcuni criteri per la selezione della regola opportuna.

Le strategie che possono essere utilizzate si suddividono in due grosse categorie (Nilsson, 1980):

- a. *strategie non-informate*, che utilizzano informazioni indipendenti dal dominio per la selezione delle regole applicabili;
- b. *strategie informate* che utilizzano invece informazioni dipendenti dalla particolare conoscenza sul dominio per la selezione delle regole applicabili; esse sono quelle di gran lunga più utilizzate per lo sviluppo di sistemi esperti di una certa complessità.

Le più conosciute strategie di ricerca non informate sono la *depth-first* con *backtracking* e la *breadth-first*.

a. *Depth-first*

Considerando la ricerca in un grafo, la strategia di ricerca *depth-first* consiste nell'espandere sempre per primi i nodi più profondi del grafo, mentre i nodi di uguale profondità vengono selezionati arbitrariamente (ad esempio potranno essere selezionati quelli più

a sinistra). La profondità del nodo da cui si parte è uguale a 0; la profondità di un qualunque altro nodo è la minima fra le profondità dei genitori più 1. In generale viene prevista una profondità massima di ricerca. Quando il processo di ricerca raggiunge il valore massimo di profondità o si è arrivati ad un fallimento (nel senso che si è ottenuto un nodo che non può più essere espanso e che non è quello cercato), si considerano strade alternative della stessa profondità (se esistono), poi minori di una unità e così via (*backtracking*).

Un esempio di tale strategia può essere individuato nell'esempio illustrato precedentemente; i nodi nel grafo *and/or* sono infatti esplorati con questo tipo di ricerca.

La strategia *depth-first* può essere considerata efficiente dal punto di vista implementativo: infatti può essere memorizzata una sola strada alla volta durante il procedimento di ricerca (l'opportuna gestione di un unico stack può essere sufficiente per implementarla), ma può essere non-completa (si pensino a possibili loops in presenza di grafi ciclici o a scorretti limiti massimi di profondità). L'interprete del linguaggio *Prolog* (Clocksin, Mellish, 1981) è una esemplificazione di come tale strategia possa raggiungere notevole efficienza, ma come vada ad intaccare la completezza del dimostratore.

b. *Breadth-first*

Consiste nel selezionare sempre i nodi meno profondi del grafo. In questo modo l'esplorazione del grafo avviene tenendo contemporaneamente aperte più strade.

Tale strategia garantisce la completezza, ma non permette una efficiente implementazione su sistemi mono-processore, mentre diventa più efficiente su architetture multi-processore dove le diverse strade possono essere percorse in parallelo.

Anche se alcuni noti sistemi esperti quali *Mycin* e *R1* adottano strategie di ricerca non-informate risulta evidente che non è possibile adottare tali strategie per problemi di una certa complessità; l'intelligenza di un sistema non è infatti misurabile tanto in termini di capacità di ricerca, quanto in termini di capacità di utilizzare conoscenza sul problema (strategie di ricerca informate) per eliminare a priori alcune strade ritenute poco promettenti e dunque eliminare il pericolo dell'esplosione combinatoriale. In questo modo si riduce la complessità del problema da risolvere mediante conoscenze empiriche sul ragionamento che dovrebbe essere seguito nella soluzione del problema.

Scrivono A. Newell e H. Simon (1976) al riguardo:

... Il compito che un sistema di simboli deve quindi affrontare quando gli si presenta un problema ed uno spazio del problema è quello di utilizzare le sue limitate capacità di elaborazione per generare una dopo l'altra le soluzioni possibili fino a trovarne una che soddisfi il test di definizione del problema. Se il sistema avesse un qualche controllo sull'ordine nel quale vengono generate le possibili soluzioni, sarebbe allora utile disporre questo ordine in modo che le soluzioni vere e proprie abbiano un'alta possibilità di comparire prima. Un sistema di simboli mostrerebbe un comportamento intelligente se riuscisse a fare questo. L'intelligenza, per un sistema con capacità di elaborazione limitata consiste nella saggia scelta di cosa fare dopo...

La prima ovvia soluzione al problema della rappresentazione di informazioni di controllo è di attribuire alle regole dei valori di priorità rappresentati come numeri interi; in questo modo l'interprete selezionerà sempre la regola applicabile a più alta priorità per eseguirla.

Supponendo, ad esempio, in un sistema esperto che gestisce una centrale nucleare di voler essere sicuri di servire sempre regole che esprimono situazione di allarme prima di quelli di funzionamento normale, alle prime potrebbe essere attribuito staticamente un più alto valore di priorità.

Ad esempio:

R1: *if* (la temperatura è maggiore di 100 gradi), *and* (la pressione ha valore p1)
then (attiva la valvola ...) *and* (segnala una situazione di allarme all'operatore) --- priorità 10

La precedente regola, se le condizioni sono verificate, sarà sempre selezionata prima della seguente:

R2: *If* (la pressione ha valore p1) *then* (attiva la procedura di funzionamento normale PROC5) --- priorità 5.

I valori di priorità possono essere assegnati staticamente (come nell'esempio mostrato sopra) o dinamicamente.

Nel caso in cui siano assegnati dinamicamente essi potranno tener conto di fattori quali:

- a. lo stato della memoria di lavoro;
- b. la presenza di particolari regole applicabili;
- c. la precedente esecuzione di regole correlate;

d. l'andamento dell'esecuzione per particolari scelte fatte precedentemente.

Anche se l'attribuzione (statica o dinamica) di valori di priorità alle regole sembra l'approccio più semplice ed intuitivo per inserire informazioni di controllo nella base di conoscenza, esso presenta una serie di problemi che possono essere così riassunti:

1. risulta particolarmente complesso individuare il corretto valore di priorità da assegnare alle regole (sia staticamente che dinamicamente);
2. l'attribuzione dei valori di priorità è oscura poiché le ragioni per cui tali valori sono attribuiti nascono da valutazioni empiriche; diventa dunque carente nel sistema la capacità di spiegazione del proprio comportamento. Infatti le motivazioni sulle scelte degli operatori da eseguire non sono espresse esplicitamente. Nell'esempio precedente, ad esempio, alla domanda: « perché la regola R1 è eseguita prima della regola R2 » il sistema potrebbe solo rispondere « perché ha una maggiore priorità » mentre la vera motivazione (quella che darebbe un esperto) sarebbe « perché è una regola che tratta una situazione di allarme: tali regole devono sempre essere eseguite prima di quelle che trattano situazioni di funzionamento normale »;
3. la modificabilità della base di conoscenza diminuisce poiché le informazioni di controllo sono frammischiate alla conoscenza sul dominio e poiché le regole presentano dipendenze implicite dovute ai loro valori di priorità.

L'utilizzo esplicito di *meta-conoscenza* (Aiello, Levi, 1984; Davis, 1980) che predica esplicitamente sulla base di conoscenza e dunque sulle regole di livello oggetto può risolvere i problemi precedentemente citati.

Ad esempio una meta-regola del tipo:

MR1 « Usa regole che esprimono situazioni di allarme prima di regole che esprimono situazioni di funzionamento normale »,

va ad influire esplicitamente sulla strategia di controllo introducendo una forma di priorità relativa fra regole, definendo quale regola di livello oggetto utilizzare quando più di una è applicabile.

È evidente che un sistema così organizzato presenta notevoli vantaggi che possono essere così riassunti:

- a. il sistema è maggiormente flessibile e modificabile poiché una variazione nella strategia di controllo implica semplicemente il

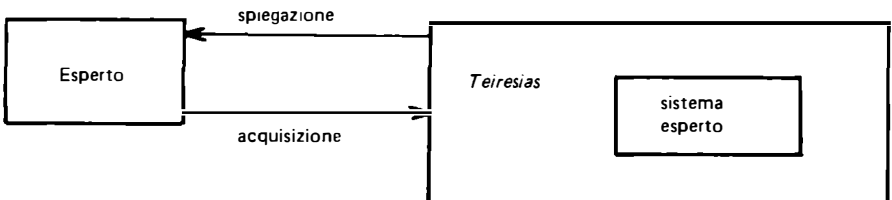
cambiamento di alcune meta-regole, lasciando inalterata la base di conoscenza oggetto, e non, invece, il cambiamento di valori di priorità attribuiti in modo spesso oscuro alle regole di livello oggetto;

- b. la strategia di controllo è molto più semplice da capire e descrivere poiché utilizza metodi di rappresentazione espliciti e vicini al modo di ragionare dell'utente;
- c. il sistema offre potenti meccanismi di spiegazione del proprio comportamento perché può utilizzare la conoscenza esplicita sul controllo a tale scopo. Mediante l'utilizzo delle meta-regole le capacità esplicative auspiccate al precedente punto 2) sono facilmente ottenibili.

Molti sistemi esperti evoluti utilizzano meta-conoscenza per influenzare il controllo. Fra essi citiamo *Molgen* (Stefik, 1981), e *Teiresias* (Davis, 1979; Davis, Lenat, 1980).

6.1. « *Teiresias* » e l'utilizzo di meta-conoscenza

La progettazione di *Teiresias* nasce dalla convinzione che un buon sistema esperto deve essere in grado di eseguire operazioni di manutenzione sulla sua stessa base di conoscenza. In questo senso deve essere in grado di acquisire conoscenza in modo « intelligente » e critico, ad esempio valutando se le nuove regole che l'esperto propone sono in contraddizione con quelle precedentemente inserite. Inoltre deve essere in grado di proporre nuove regole di produzione per ottenere un certo risultato desiderato dall'utente. Le sue capacità di spiegazione, inoltre, devono necessariamente essere di più alto livello e più esaurienti rispetto a quelle presenti nei primi sistemi esperti. Tali caratteristiche sono importanti, ma così difficilmente classificabili o definibili da richiedere l'utilizzo di un sistema esperto che le implementi. L'idea è quindi di interfacciare un qualunque sistema esperto organizzato come sistema di produzione (come caso particolare è stato scelto *Mycin*) con *Teiresias* per raggiungere queste capacità esplicative e di gestione della base di conoscenza.



Teiresias utilizza in modo molto efficace il concetto di meta-conoscenza poiché svolge un ruolo di gestione e di controllo sulla base di conoscenza del sistema esperto che deve interfacciare con l'utente.

Tale meta-conoscenza serve per tre scopi fondamentali:

- a. sono utilizzati « modelli » per descrivere regole di livello oggetto;
- b. sono utilizzati metodi descrittivi espliciti per descrivere la rappresentazione utilizzata e dunque poterla modificare;
- c. sono utilizzate meta-regole per definire strategie di controllo.

In *Teiresias* è dunque possibile esprimere, ad esempio, meta-regole che influenzano la strategia di controllo della forma:

Meta-regola 1

if (ci sono regole che menzionano...) *and*

(ci sono regole che menzionano...).

then (le prime dovrebbero essere eseguite prima delle seconde) (FC=0.4).

Meta-regola 2

if (il paziente è...) *and* (ci sono regole che menzionano...)

then (è certo che nessuna di esse sarà utile ulteriormente) (FC=1).

Le conclusioni delle meta-regole possono essere di due tipi; possono indicare un ordine parziale fra regole di livello oggetto (meta-regola 1) oppure fare deduzioni sulla utilità di certe regole di livello oggetto (meta-regola 2). La sintassi delle meta-regole è identica a quella di livello oggetto, ma esse sono arricchite con nuove funzioni od attributi. In particolare alcune funzioni (ad esempio mentions) servono per referenziare le regole di livello oggetto in base al loro contenuto, mentre alcuni attributi (ad esempio utility e before) consentono di influenzare la scelta delle regole oggetto appartenenti al conflict-set.

Si noti che anche nelle meta-regole è possibile esprimere fattori di certezza.

In presenza di regole di meta-livello che influiscono sul controllo, l'interprete, supponendo che debba dedurre il valore di un attributo A (ad esempio in *Mycin* l'identità di un organismo) agisce nel modo seguente:

1. trova le regole di livello oggetto che concludono sul valore di A e forma la lista L;
2. trova le meta-regole associate con A (le meta-regole sono legate al tipo di goal che si desidera dimostrare per aumentare l'efficienza del sistema) e forma la lista L';
3. valuta ogni meta-regola di L' e determina se è applicabile per alcune regole di L;

4. ordina o toglie elementi da L in accordo ai criteri mostrati precedentemente;
5. esegue ogni regola rimasta in L nell'ordine ottenuto.

7. Osservazioni finali

Come emerge da questa veloce panoramica, la costruzione di un sistema esperto è una attività complessa ed ancora molto empirica in cui solo pochi principi architetturali guida sono ben assestati.

Nella prima fase di prototipizzazione diventa di fondamentale importanza una stretta interazione fra l'esperto che ha piena conoscenza del dominio del problema e l' 'ingegnere della conoscenza' a cui sono note le principali tecniche di intelligenza artificiale, i metodi di rappresentazione della conoscenza più opportuni e gli strumenti software che possono essere utilizzati nella progettazione del sistema esperto. L'acquisizione di conoscenza sul dominio da parte dell'ingegnere della conoscenza è spesso ritenuta la parte più critica nella costruzione di un sistema esperto, ma tale fase è essenziale poiché risulta ancora utopistica la possibilità di una diretta interazione fra esperto e computer senza la mediazione di un ingegnere della conoscenza.

Una delle scelte progettuali più complesse riguarda sicuramente il tipo di rappresentazione della conoscenza da adottare nella costruzione del sistema esperto. Anche se durante questa discussione, per ovvi motivi di semplicità, si sono presentati solo sistemi esperti che utilizzano il formalismo dei sistemi di produzione, molti sistemi esperti sono scritti utilizzando *frames*, reti semantiche, metodi di rappresentazione ibridi (ad esempio *frames* e regole di produzione in AM: Davis, Lenat, 1980) ed anche strutture architetturali più complesse di quella precedentemente discussa (ad esempio strutture ad agenda, Davis, Lenat, 1980 o *blackboard* a livelli: Erman e al., 1980). La scelta di una rappresentazione della conoscenza non adatta può chiaramente pregiudicare una soddisfacente costruzione del sistema esperto e può causare una sua completa riprogettazione. Analogamente, anche la scelta di un ambiente software adatto per rendere più veloce la costruzione di un sistema esperto, almeno nella sua fase prototipale, può risultare problematica: più l'ambiente è orientato ad un particolare tipo di problema, e dunque ad una particolare organizzazione architettuale ed ad un particolare tipo di rappresentazione (è il caso di *Emycin*, van Melle e al., 1981 per la soluzione di problemi di classificazione), più il sistema esperto sarà costruito con

facilità ed efficienza. Se invece il problema che si deve risolvere è di notevole complessità e difficilmente inseribile in schemi a priori già sviluppati per altri sistemi esperti, si deve ricorrere ad ambienti più generali (ad esempio MRS, Genesereth e al., 1980, o KEE, Fikes, Kehler, 1985) se non addirittura a linguaggi general-purpose quali *Lisp* (Allen, 1978) o *Prolog* (Clocksin, Mellish, 1981), guadagnando in flessibilità, ma crescendo la complessità nell'effettiva costruzione del sistema esperto.

Riferimenti bibliografici

- L. Aiello, G. Levi (1984), *The uses of meta-knowledge in AI Systems*, Ecai-84, Pisa, sett.
- J. Allen (1978), *Anatomy of Lisp*, « Computer Science Series ».
- A. Barr, E.A. Feigenbaum (1981), *The Handbook of Artificial Intelligence*, W. Kaufman, Menlo Park, Ca.
- W.F. Clocksin, C.S. Mellish (1981), *Programming in Prolog*, Springer-Verlag, New York.
- R. Davis (1979), *Interactive Transfer of Expertise: Acquisition of New Inference Rules*, « Artificial Intelligence », 12, pp. 121-157.
- R. Davis (1980), *Meta-Rules: Reasoning about Control*, « Artificial Intelligence », 15, pp. 179-222.
- R. Davis, D. Lenat (1980), *Knowledge-Based Systems in Artificial Intelligence*, McGraw-Hill, New York.
- R. Davis, B. Buchanan, E. Shortliffe (1977), *Production Rules as a Representation for a Knowledge-Based Consultation Program*, « Artificial Intelligence », vol. 8, n. 1, pp. 15-45.
- L.D. Erman e al. (1980), *Hearsay-II Speech-Understanding System: Integrating Knowledge to Resolve Uncertainty*, « Computing Surveys », vol. 12, n. 2, feb, pp. 213-253.
- R. Fikes, T. Kehler (1985), *The Role of Frame-Based Representation in Reasoning*, « Comm. of ACM », vol. 28, n. 9, set.
- C.L. Forgy (1981), *OPS-5 User's Manual*, CMU-CS-81-135 Report, lug.
- M.R. Genesereth e al. (1980), *The MRS Dictionary*, Stanford, Heuristic Programming Project, Rep. No. HHP-80-24, dic.
- F. Hayes-Roth, D.A. Waterman, D.B. Lenat (eds.) (1983), *Building Expert Systems*, Addison Wesley, Readings.
- IEEE Computer (1983), n. speciale, *Approaches to knowledge Representation*, vol. 16, ott.
- R.K. Lindsay e al. (1980), *Applications of Artificial Intelligence for organic chemistry: The Dendral Project*, McGraw-Hill, New York.
- D. McDermott (1982), *R1: A rule based configurer of computer systems*, « Artificial Intelligence », 19 (1).
- M. Minsky (1975), *A Framework for Representing Knowledge*, in Winston (ed.), *Psychology of Computer Vision*, McGraw-Hill, New York.
- A. Newell, H.A. Simon (1976), *Computer Science as empirical enquiry: Symbols and search*, « Comm. ACM », 19, n. 3, pp. 113-126.

- N.J. Nilsson (1980), *Principle of Artificial Intelligence*, Tioga Publ., Palo Alto Ca.
- E. Shortliffe (1976), *Mycin: A Computer Based Medical Consultation*, A. Elsevier, New York.
- M. Stefik (1981), *Planning and Meta-Planning: Molgen, Part II*, «Artificial Intelligence», 16, pp. 141-170.
- W. vanMelle e al. (1981), *Emycin: A domain independent system that aids in constructing knowledge based consultation programs*, «Machine Intelligence, Infotech State of The Rrt Report», 9, n. 3.
- W. Woods (1975), *What's in a link: foundation for semantic networks*, in Bobrow, Collins (eds.), *Representation and Understanding*, Academic Press, New York.

2. COMPUTER, SOCIETÀ, SALUTE

di Achille Ardigò

1. Un informatico di mia conoscenza, Richard Ennals, dell'Imperial College di Londra, ha di recente lanciato l'idea di una Iniziativa strategica per la salute (*Strategic Health Initiative*; Shi) in assonanza e quasi in alternativa all'Iniziativa di difesa strategica (Sdi) cara a Reagan. Al cuore della proposta c'è l'idea di una mobilitazione generale per integrare le terapie e l'azione preventiva al fine di preservare, ripristinare e mantenere la salute, con una forte campagna di diffusione dell'informazione sanitaria, per l'educazione e l'autoeducazione, con largo spazio alle opportunità informatiche, anche avanzate.

Il tutto peraltro in una forma che consenta la partecipazione consistente anche di associazioni volontarie, accanto alle agenzie di base pubbliche, per l'informazione locale, esistenti in Gran Bretagna (a difesa dell'utente del servizio sanitario nazionale: i *Community health councils*).

È un progetto, che esprime la speranza di una mobilitazione sociale e politica per la salute, che sembra rievocare le grandi campagne di igiene e salute pubblica della fine del secolo scorso. Non a caso, R. Ennals fa presente la ricomparsa in Gran Bretagna di certe malattie che erano state sradicate, e lamenta sia l'eccesso di tolleranza del sistema pubblico alla diffusione di alimenti molto commercializzati anche se nocivi sia la non diffusione – per non urtare interessi potenti – di rapporti scientifici ufficiali sulla dieta degli inglesi. La proposta di Richard Ennals ha peraltro qualcosa di inequivocabilmente contemporaneo: la grande confidenza nell'impiego dei computer per i fini che propone.

2. Non è difficile prevedere che un simile progetto avrà poca fortuna in un tempo come questo ove ogni pur legittima estensione della spesa sociale e sanitaria suscita reazione di rigetto in quasi

ogni ambito politico-ideologico, per non parlare delle centrali di potere economico.

Ma sono due gli aspetti specifici per i quali l'ipotesi di una SHI si presenta come controfattuale, almeno al presente, e cioè:

- 2.1. oggi la preoccupazione per la salute cresce, anche a livelli preventivi, ma viene canalizzata largamente in campo privatistico, con diffusione della spesa sanitaria e del volontariato dei privati;
- 2.2. l'utilizzo del computer per la salute è ancora limitato, ad usi specialistici, a fini di amministrazione e di controllo pubblici centrali, della spesa sanitaria, o a fini strumentali alla ricerca scientifica.

Poiché è di questa seconda fenomenologia che intendiamo occuparci, occorre dire subito che l'impiego dell'informatica a fini di strategie collettive e diversificate per accrescere la salute di una popolazione, è certamente destinato ad essere uno degli impieghi maggiori dell'informatica fuori del campo dei servizi finanziari ed amministrativi sia pubblici che privati. Il tema, quindi, è di quelli che ci consentono di aprirci a scenari assai probabili futuri. E tuttavia, proprio questi ultimissimi anni ci hanno avvertiti che quanto più radicale è la portata di una innovazione tanto maggiori sono le resistenze, i ritardi, le discontinuità e i limiti nell'adozione della innovazione medesima.

3. La pressione commerciale e culturale a favore delle merci informatiche, col supporto dei mass media, potrebbe, però, - è questa un'altra riflessione preliminare sul tema - avere ragione delle resistenze all'ulteriore diffusione dei computer, e delle diffuse perplessità, ora sopraggiunte, dopo la grande apertura del mercato ai personal computer, avvenuta tra la fine degli anni '70 e i primissimi anni '80. Insomma, la lotta da parte dei sistemi sanitari pubblici e di private assicurazioni malattie contro il lievitare delle spese sanitarie ospedaliere potrà ritardare la diffusione dell'informatica sanitaria a carico della collettività; e tuttavia è da prevedere che le industrie dell'informatica sanitaria accentueranno la persuasione per allargare il mercato delle merci informatiche per la salute. Ciò in direzione anche dei singoli privati, oltre che dei medici, con la produzione e il lancio di merci informatizzate sia per l'autodiagnosi dei privati utenti, sia per i laboratori dei sanitari liberi professionisti, convenzionati o meno colla sanità pubblica.

È stato già annunciato per il 1986, ad es., da una impresa nord-americana che lavora all'ombra dell'Ibm, la Medcomp Technologies

inc., il lancio commerciale di un software utilizzabile anche da personal computer, (il *bodylink*) mediante il quale ognuno, con un certo grado di istruzione generale, può avere registrati sul video del proprio computer i principali ritmi del suo corpo: le onde cerebrali, la pressione del sangue, l'attività muscolare, i ritmi respiratori, prelevati da appositi sensori¹.

La realtà dell'ingresso dei computer nel campo della salute, non solo nel nostro paese, è comunque molto lontana dall'ideale programma indicato in funzione dell'« iniziativa strategica per la salute ».

Il gran battage pubblicitario e la sicurezza delle prospettive più avveniristiche date per prossime, a proposito di prodotti avanzati dell'informatica, che si sono avuti in questi ultimissimi anni, a partire dagli Stati Uniti, hanno fatto credere che certe innovazioni di avanguardia fossero già penetrate nella vita quotidiana di molti. E invece, anche se rilevanti progressi vi sono stati nel settore delle nuove tecnologie, essi non hanno avuto il trend diffusivo ed espansivo sperato.

Mi riferisco sia alla creazione di sistemi informativi sanitari a carattere nazionale, sia alla diffusione di *personal computer* con programmi educativi e di *data base* bio-medici, sia soprattutto all'uso di *sistemi esperti* di intelligenza artificiale per aiutare diagnosi e terapie di diffuse infermità.

Siamo anzi in una fase di assestamento in cui minori sembrano i frutti di quanto lasciassero sperare i fiori. E tuttavia, anche se dobbiamo usare più cautela nelle previsioni, tenendo conto che la diffusione delle innovazioni ha le sue difficoltà, le sue gradualità e i suoi ostacoli interni ed esterni, non è difficile prevedere che il campo sanitario, incluso quello socio-sanitario, continuerà ad essere uno degli ambiti di crescente applicazione sia di hardware che di software computazionali, e dei relativi supplementi culturali e tecnici.

4. Con realismo quanto a prospettive, è perciò opportuno procedere alla ricognizione dei tipi di impiego del computer e delle sue connessioni strumentali e culturali, già oggi in qualche modo presenti nell'ambito degli interventi per la salute, sia pubblica che privata.

Successivamente sarà possibile avanzare alcune tematiche che at-

1. Cfr. *Teaching your computer to read body language*, « Business Week », 25 nov. 1985.

tengono al rapporto tra questa diffusione di computer, in rapporto alla salute, e taluni problemi emergenti di civiltà, nelle società avanzate che si avvicinano alla fine del secondo millennio dopo Cristo.

Sociologicamente, noi ci occupiamo della diffusione di un'innovazione, o meglio della diffusione sociale di un sistema di innovazioni non solo tecnologiche, abbastanza recente. Il computer conta solo quarant'anni di vita, posto che la prima di queste macchine venne installata all'università Usa di Pennsylvania nel 1946. Pesava 30 tonnellate e però la capacità e rapidità di calcolo erano quelle di un normale calcolatore tascabile odierno.

Nel campo sanitario, medico e amministrativo, l'introduzione dei computer data dai primi anni '60, quando le tradizionali analisi statistiche per laboratori ospedalieri e per cliniche mediche o per centri amministrativi vennero implementate per fornire maggiori ausili alla programmazione amministrativa o alla diagnosi medica, con il ricorso a test e a tecniche di selezione sequenziale dei dati relativi ai pazienti.

Oltre le applicazioni informatiche alla ricerca bio-medica e clinica, due altre sono state le direzioni pionieristiche di impatto con i computer: quella degli studi epidemiologici, socio-epidemiologici e demografici, a proposito di mortalità e morbosità delle popolazioni – con riferimento in specie ai gruppi e alle mappe di maggior rischio – e quella, già richiamata – specie di fronte ai crescenti allarmi per l'aumento degli oneri sanitari – dell'informatica sanitaria a fini di programmazione sanitaria centrale e di controllo amministrativo sui servizi a finanziamento pubblico.

È solo dai primi anni '70 che anche linguaggi, metodi e tecniche di intelligenza artificiale entrano nel campo medico, con l'obiettivo dei primi « sistemi esperti » di supporto diretto, attraverso l'interazione fra medico e computer, sia pure in laboratori solo universitari, per specifici ambiti diagnostici.

5. I computer sono, insomma, entrati nel sistema sanitario, nell'Occidente avanzato in genere, ed in Italia in specie, da differenti ingressi, secondo aspettative connesse a differenti funzioni da perseguire.

5.1. Le nuove merci e conoscenze informatiche sono entrate anzitutto dalla porta delle amministrazioni centrali, dapprima di grandi enti previdenziali e assicurativi pubblici e poi hanno fatto ingresso nei Ministeri, ma tardi, almeno quanto ad uso corrente dei

macchinari *mainframes* acquistati; nel Ministero della sanità², in alcune regioni, in alcuni grandi comuni.

Vanno poi indicati i *mainframes* o i computer di media dimensione, installati per scopi accertativi e statistici interni, in Italia, dalla federazione nazionale dell'ordine dei medici e da grandi sindacati medici, secondo varie denominazioni.

Solo in alcune regioni (Toscana e Veneto, credo tra le prime) si sono avute applicazioni istituzionali di informatica sanitaria diffusa a livello di unità sanitarie locali. È ciò dopo un processo di diffusione operato attraverso convegni e da congressi.

I computer sono entrati da tempo in funzione, come si accennava all'inizio, nella ricerca bio-medica e clinica, attraverso le iniziative di istituti di ricerca bio-medica universitari, para-universitari, di importanti centri ospedalieri, di altri enti di ricovero e cura a carattere scientifico e per le private iniziative di singoli medici o esperti di problemi sanitari.

6. Sebbene il panorama si presenti molto variegato e frammentato, credo che si possano enucleare almeno cinque ambiti, tra i più significativi – in rapporto all'obiettivo salute – di applicazioni del computer.

Essi sono:

la differenziazione dell'informatica al servizio dell'amministrazione, della programmazione, della gestione e del controllo amministrativo-finanziario e per fini di efficacia-efficienza, dei servizi sanitari e so-

2. Per l'Italia, cfr in merito, Sergio Paderni, *Nuove prospettive per la comunicazione nel servizio sanitario nazionale: il rapporto centro-periferia*, « Scienze sociali e medicina di fronte ai mutamenti comunicativi nel sistema sanitario », ed. I.I.d.M.S., Roma, 1985, pp. 127-134.

Per la Francia, esiste – pei Ministeri degli affari sociali e della sanità, come pel Ministero del lavoro – un servizio chiamato Dorique, con una sede centrale presso il Ministero degli affari sociali, in avenue Duquesne 14, a Parigi, e con corrispondenti regionali. « Dorique » opera in stretta collaborazione con l'Insee, il ben noto istituto nazionale di statistiche economiche e sociali. Il sistema informatico della Dorique tiene distinta la parte sanitaria da quella sociale.

L'informatizzazione per la parte sanitaria si esprime soprattutto in quattro direzioni: carte sanitarie, schedari ospedalieri, schedari per il personale medico, schedari per il personale paramedico.

A livello regionale, la Dorique opera con 2 o 3 funzionari di grado B dell'amministrazione, e con uno o due esperti dell'Insee in ciascuna delle 22 regioni amministrative in cui, dagli inizi degli anni '80, è stato suddiviso il paese, a seguito della legge pel decentramento. Dorique oltre ai *mainframes* (per lo più macro-computer nazionali Bull) della sede centrale, dispone di

cio-sanitari pubblici e privati. Ciò a partire dalle sedi centrali, specie dei grandi enti pubblici di sicurezza sociale, dei Ministeri, per passare ai livelli di autogoverno regionale (politico-elettivo o solo tecnici) e a quelli delle unità sanitarie locali o dei centri comunali di servizi, comunque denominati (di quartiere, di contea, di dipartimento, ecc.) nei diversi paesi;

il vasto *ambito clinico* per diagnosi e terapie da parte di medici, con la collaborazione di altri esperti e di tecnici;

l'ambito di supporto, protesico e non, a favore di handicappati;

l'ambito socio-sanitario, per processi decisionali aiutati dal computer, a partire da data-base, anche su personal computer, a beneficio di operatori socio-sanitari che devono decidere e/o controllare scelte di tipo assistenziale socio-sanitario;

gli *ambiti strumentali di supporto alle comunicazioni* medico-sanitarie interospedaliere ed interistituzionali, facilitate anche per via telefonica, tra particolari tipi di soggetti utenti e pazienti ad alto rischio e istituzioni socio-sanitarie.

Su ciascuno dei cinque ambiti forniamo alcune informazioni per poi passare ad alcune riflessioni di tipo valutativo.

6.1. La diffusione dell'informatica *al servizio dell'amministrazione*, della programmazione, della gestione e del controllo amministrativo-finanziario e per fini di efficacia-efficienza, dei servizi sanitari e socio-sanitari pubblici e privati si articola a diversi livelli entro ogni paese: da quello centrale a quello regionale a quello locale, chiamando in causa diversi ministeri ed amministrazioni. Cominciamo dalle applicazioni centralizzate, per scopi epidemiologici e di programmazione pubblica dei servizi e di controllo delle spese sanitarie di un paese. In Italia ad utilizzare per primi centri di calcolo informatici sono stati i grandi enti pubblici di sicurezza sociale e l'Istituto superiore di sanità, molto dopo seguiti dai Ministeri della sanità, del Lavoro, dell'Interno, o simili. Similmente è avvenuto a quanto è dato apprendere, anche negli altri paesi europei di avanzato *welfare state*. Per lo più, l'informatizzazione in servizi centrali

250 terminali distribuiti sul territorio nazionale, sempre al servizio dei due ministeri: degli affari sociali inclusa la sanità e del lavoro. Sezioni informatiche sono esistenti o previste presso i centri regionali degli ospedali, in seguito alla legge del 1982 che ha affidato la pianificazione ospedaliera al livello amministrativo (non legislativo) regionale. (Livello regionale cui sovrintende un prefetto). La Dorique fa ricorso anche a personale non statale, assunto secondo contratti privatistici.

è connessa alla produzione e al trattamento di statistiche epidemiologiche e di quelle relative agli aspetti finanziario-amministrativi della spesa sociale e sanitaria, sotto l'egida unificata o meno del servizio informativo sanitario nazionale³. Sempre per usi di programmazione amministrativa, di gestione e di controlli di legittimità, prima che di efficacia-efficienza della spesa, si hanno gradualmente diffusioni ai livelli regionali e locali, in forme di mero decentramento organizzativo o in forme autonome e di informatica diffusa.

6.2. Nel vasto *ambito clinico* per diagnosi e terapie da parte di medici (con la collaborazione di altri esperti e di tecnici) l'uso di computer, anche personal, è stato sperimentato da clinici ai fini di una migliore diagnosi, di un più penetrante giudizio clinico e di scelte terapeutiche, qui ed ora. Secondo J.D. Meindl, il ricorso al computer in tali casi si svolge secondo l'asse ideale di questa domanda: « data una certa distribuzione di malattie, ciascuna con i propri caratteristici segni e simboli, e data la particolare sindrome clinica di un paziente, qual è il probabile stato di infermità di tale paziente »⁴?

In questo ambito, una dimensione molto recente e ancora largamente sperimentale e prototipale è rappresentata dai cosiddetti sistemi esperti che collegano data-base con regole secondo linguaggi e metodi di intelligenza artificiale.

All'interno dell'ambito clinico medico, sono peraltro opportune alcune distinzioni, che riflettono ovviamente solo in parte il ricco processo di differenziazione in atto nel settore.

6.2.1. Nell'ambito diagnostico ospedaliero, il computer viene usato per strumentazioni diagnostiche speciali quali la tomografia assiale computerizzata (Tac), misure ultrasoniche per cuore, milza, pancreas, fegato, addome, cistifellea, feto, cervello e occhio, per gli spettometri di massa per la gas-cromatografia (GC-MS), per l'analisi automatica dei ritmi cardiaci anormali.

6.2.2. Nell'ambito terapeutico ospedaliero l'uso di computer ha due possibili direzioni privilegiate, in particolare:

3. Oltre al saggio già citato - ved. n. 4 -, si veda: Sergio Paderni, *La programmazione sanitaria nazionale Il sistema informativo sanitario e le novità del piano sanitario nazionale 1982-1984*, in « Atti del convegno nazionale informatica », Fiera di Padova, vol. 2, ed. E.A. Fiere di Padova, 1982, Padova, pp. 45-68

4. James D. Meindl, *Micros in Medicine*, « Science », feb. 12, 1982. L'autore è professore di electrical engineering e direttore degli Stanford Laboratories all'Università americana di Stanford.

- a. per monitoraggio automatico di pazienti in condizioni critiche, entro unità ospedaliere di cura intensive;
- b. nei laboratori di cliniche universitarie e in ospedali, anche per la trasmissione in tempo reale a singoli reparti di *files* relative a test per pazienti spedalizzati o in cure ambulatoriali in ambulatori ospedalieri.

6.2.3. Nell'ambito diagnostico-terapeutico in ambulatori privati, l'uso del computer da parte di medici convenzionati sia di medici di base⁵ che di specialisti non ospedalieri, concerne la raccolta di *files* sia di informazioni professionali aggiornate sia di dati relativi ai pazienti visitati. Ma sulle sperimentazioni in tale ambito non si posseggono molte informazioni, anche se tale tipo di impiego esiste.

Finora, si è trattato di ambiti solo medico-sanitari. Tre nuovi ambiti non clinici né medico-sanitari sono in via di decollo sperimentale, che possiamo considerare come attinenti alla salute, specie se intesa secondo la comprensiva definizione dell'OMS come stato di benessere fisico, psichico e sociale. Essi sono:

6.3. *L'ambito di supporto, protesico e non, ad handicappati*, specie a ciechi, sordi, paralizzati, impediti nella parola, con perdita di arti. Computer per ciechi, con programmi che convertono l'immagine ottica di un carattere stampato in un fac-simile tattile vibrante, letto dal cieco avvezzo alla scrittura in *braille*; computer per comunicare a scuola tra allievo e insegnante da parte di studenti muti ed anche sordi; computer con programmi musicali e grafici per stimolare l'interesse all'impegno culturale, da parte di tossicodipendenti in cura disintossicante, sono solo alcuni esempi.

6.4. *L'ambito socio-sanitario*, per processi decisionali aiutati dal computer, a partire da data-base, anche su personal computer, a beneficio di operatori socio-sanitari che devono decidere e/o controllare scelte di tipo assistenziale socio-sanitario. Ciò soprattutto a favore di utenti e pazienti di particolari gruppi di rischio, (anziani dipendenti, minori, infanti e puerpere, handicappati, ecc.) che si rivolgono al servizio pubblico⁶.

5. In proposito, cfr. A. Pagni, *Il sistema informativo e il medico di medicina generale*, « Scienze sociali e medicina di fronte ai mutamenti comunicativi nel sistema sanitario », ed. I.I.d.M.S., Roma, 1985, v. pp. 169-182. Sul l'argomento ved. anche *Why can't a doctor be more like a computer?*, « The Economist », 1 dic 1984.

6. In merito, cfr. J. Frawley, *Social experiments with Information Technology in Ireland*, paper presentato alla conferenza internazionale Fast sugli

In questo ambito, l'uso del computer, personal o terminale « intelligente », dovrebbe essere di supporto a funzionari e utenti del Ssn, anzitutto per far dominare la complessità crescente di leggi, circolari e regolamenti, che gli operatori sono tenuti ad applicare o a conoscere nelle diverse circostanze del servizio prestato e richiesto.

6.5. Gli *ambiti strumentali di supporto alle comunicazioni medico-sanitarie* interospedaliere ed interistituzionali, facilitate anche per via telefonica, tra particolari tipi di soggetti utenti e pazienti ad alto rischio e istituzioni socio-sanitarie. Il riferimento va a certi progetti Sip di telemedicina, al progetto Sip del « telesoccorso », specie ad anziani soli, in attuale sperimentazione, a progetti di teleconsulto interospedaliero, a videotex per informazioni farmacologiche, e accesso a banche dati bio-mediche, ecc.; a sistemi informativi decentrati per utenti ospedalieri e loro familiari, ecc., e ad altri sistemi di informazione e comunicazione informatizzati per utenti attraverso sedi di quartieri, di centri civici e sociali, ecc.

Le diverse direttrici di diffusione, peraltro tra loro con gradienti di intensità e di generalizzazione assai diversi, cominciano a dar luogo ad alcune riflessioni e informazioni.

7. Per tempo è emerso un primo *caveat* che può essere così esposto: « l'informatizzazione per la salute non deve essere concentrata in sedi burocratiche centrali né essere tecnocentrica ». E tuttavia i sistemi informatici sanitari nazionali, specie in Italia e Francia, anche per priorità temporali nell'accesso a grandi computer e per il peso amministrativo delle decisioni connesse, hanno attirato le maggiori attenzioni. Pure l'allarme – che si è diffuso soprattutto dopo la seconda metà degli anni '70 – per la forbice tra spese sanitarie e andamento del Pil, ha accresciuto la concentrazione dei sistemi sanitari informatici nazionali.

Ne è derivata, sempre negli anni '70, e prima dell'esplosione commerciale dei personal computer, una sorta di equazione che è parsa ricondurre tutta l'informatica sanitaria ai Servizi informativi sanitari nazionali (solo in parte informatizzati), secondo un modello di articolazione ad albero, dal singolo distretto all'Usl, alla regione al centro nazionale ministeriale o interministeriale.

Gli anni '80, con l'acuta crisi finanziaria dello stato, hanno un

esperimenti sociali con tecnologia informatica, di Odense, Danimarca (13-15 gen. 1986).

po' dovunque ridimensionato i progetti di organici Sis ad albero, con tutte le loro un po' faraoniche articolazioni interne di sotto-sistemi informativi epidemiologici (Sie), statistici sanitari (Siss), economico contabili (Siec), relazionali sociologici (Sirs) ⁷.

Per quanto importante sia questo primo ambito nazionale di informatica sanitaria, esso non è che una, pur se assai rilevante, delle stecche del ventaglio informatico che una nazione bene orientata deve cercare di aprire al meglio per il benessere degli abitanti e per la razionalizzazione della spesa socio-sanitaria, nel rapporto tra costi e benefici. È inoltre opportuno precisare che, sebbene sia prioritario avere un sistema statistico e di contabilità finanziaria nazionale efficiente, per il Ssn, esso non può venire costruito solo al centro nazionale, nel deserto informatico di parte del paese. Tale sistema informativo centrale computerizzato sarà sempre condizionato dai dislivelli nella preparazione del personale sanitario e funzionarile regionale e locale. Le tante situazioni marginali saranno le palle al piede del sistema, anche se si adotta – come è stato fatto al servizio per la programmazione sanitaria del Ministero della sanità – un sistema informativo a rete anziché ad albero ⁸. E cioè, un sistema centralizzato libero di collegarsi direttamente, per la raccolta e il controllo dei dati, alle singole Usl, senza obbligatoriamente passare – come invece in Francia – per i coordinamenti informativi regionali. Coordinamenti che in Francia sono dipendenze delle amministrazioni centrali, e non di autorità politico-amministrative con anche poteri legislativi, come le nostre regioni.

8. Senza sottovalutare minimamente l'importanza dei progressi tecno-scientifici al centro dei Sis, anche per la flessibilità dei collegamenti in « rete », e si tratta di progressi importanti anche nel nostro paese, è solo dal polimorfismo delle vie di computerizzazione decentrate e di informatica diffusa, a fianco di quelle centrali, che può derivare il progresso delle conoscenze sanitarie informatiche nell'insieme della nazione.

Del resto, i vittoriosi movimenti di opinione pubblica in difesa

7. Per l'articolazione di questa ampia proposta cfr. P. Bellini e F. Vian, *I sistemi informativi sanitari locali Informazioni socio-sanitarie nelle regioni, nelle Usl e nei distretti sanitari*, in « Atti del convegno nazionale informatica », Fiera di Padova, vol. 2, ed. E.A. Fiere di Padova, 1982, Padova, pp. 69-89; v. spec. pp. 86 ss.

8. Cfr. S. Paderni, *La programmazione sanitaria nazionale Il sistema informativo sanitario e le novità del piano sanitario nazionale 1982-1984*, « Scienze sociali e medicina, ecc. », vol. cit., ved. spec. pp. 130 ss.

della privacy personale, in campo di informatica medico-sanitaria, verificatisi negli anni '70 – sono indicatori importanti dell'esistenza del problema e della sua avvenuta correzione. Le rivolte contro il pericolo del Grande Fratello informatico, che in Europa occidentale si concentrarono nei confronti del potere pubblico oltre che su quello commerciale, avvennero quando l'informatica sanitaria era concepita in modo gerarchico-centralistico, tutta sui *mainframes* e in quei paesi occidentali che per primi si erano mossi in direzione dell'informatica sanitaria centralizzata.

Non a caso, oggi, si ha la conversione al regionalismo nella raccolta pubblica delle informazioni sanitarie, proprio nel paese di origine del centralismo napoleonico, la Francia. Conviene in proposito ricordare, sia pure solo per accenni, e col rinvio ad una pubblicazione specifica in merito⁹, il fallimento – per vittoriosa contestazione – avvenuto nella seconda metà degli anni '70 in Francia, del progetto Safari (*Système automatisé pour les fichiers administratifs et le répertoire des Individus*) dell'Insee (l'Istituto nazionale di statistica della Francia) e del progetto Gamin del Ministero della sanità. Progetti abrogati entro il 1978.

Col progetto Safari, lo stato dispose, con legge del 1970, di operare la fusione di tutte le schede personali, che le diverse amministrazioni pubbliche avevano fino allora raccolto, in una unica scheda informatizzata per ogni francese. Nello stesso anno, il parlamento francese introdusse, con un'altra legge, il progetto Gamin (*gestion automatisée de médecine infantile*) per mettere sotto sorveglianza medica e sociale di natura amministrativa, tutti i bambini. Tutti i certificati medici dei nuovi nati dovevano essere informatizzati presso il Ministero della sanità. L'opposizione alle due leggi ebbe la meglio sul finire degli anni '70.

9. Il secondo campo di riflessioni si connette al primo, sul nesso tra computer, salute e società.

L'opportunità di esperimenti sociali con tecnologie informative-informatiche, anche nel campo della salute, da parte di associazioni volontarie sia solidaristiche sia di mutuo aiuto tra familiari e portatori di handicap sia di difesa dei consumatori di servizi pubblici e privati in tale settore, con particolare attenzione al livello locale, si legittima anzitutto in termini di democratizzazione del nuovo mezzo il quale non è né neutrale né malleabile a comando. (Del resto, l'in-

9. Cfr. A. Vitalis, *Informatique, Pouvoir et Libertés*, Economica, Paris, 1981, pp. 77-115

formatica è figlia della cibernetica il cui paradigma poggia sulla integrazione quasi totale del sistema natura e del sistema società umana nel sistema di sapere tecnico e nelle analogie comunicative e di controllo tra macchina, animale ed uomo).

È dall'incipiente diffusione di tali esperimenti con tecnologie informatiche per scopi sociali che può venire quell'uso non tecnocentrico di cui si diceva; anche al fine di rendere i pazienti e le loro famiglie in grado di comprendere diagnosi, trattamenti e regolamenti; di avvicinarsi ad un principio di simmetria nelle relazioni medico-paziente e di difendersi dagli errori medici senza alzare troppo il grado di litigiosità giudiziaria come invece sta avvenendo non solo negli Stati Uniti.

Del resto, in questa direzione – di cui mancano peraltro in Italia notizie certe – si muovono alcune esperienze europee di collaborazione tra associazioni volontarie e cooperative di servizio informatico e servizi pubblici locali. La stessa commissione Cee per il programma Fast nel campo degli esperimenti sociali con tecnologie informative, raccomanda – per la citata conferenza di Odense – una rete informativa istituzionalizzata tra ricercatori e partecipanti in tali esperimenti europei, ovviamente non limitati al campo socio-sanitario. In prospettiva, si affaccia anzi la proposta di un Centro europeo di informatica sociale (Ecsi) aperto alla interdisciplinarietà nei campi « della logica cognitiva, della psicologia, della sociologia, dell'organizzazione sociale, della cibernetica e delle tecnologie comunicazionali »¹⁰.

10. Sono ben consapevole, sulle orme di Foucault (anche se non sulla sua linea di dissoluzione nel sistema collettivo della identità personale) del grande ruolo dei mutamenti nella medicina in rapporto alle scienze umane. Per ciò vorrei sottolineare, in conclusione del saggio, l'importanza anche propriamente sociologica, della terza tematica generale sollevata, a proposito di computer, salute e società.

L'informatica, specie nelle sue esplorazioni più avanzate dell'intelligenza artificiale, ha già apportato contributi eccezionali, non solo strumentali, agli sviluppi delle scienze bio-mediche, a partire da quelle della neurologia cerebrale. Si può dire che quanto più il paradigma cibernetico ha macchinizzato la ricerca nelle scienze umane, tanto più ha al contrario (ma è un contrario solo apparente) mentalizzato

10. Cfr. Commission of the European Communities: Fast programme: Social Experiments with Information Technology; *Conclusions and Recommendations*; 2nd version, 1 nov. 1st 1985, pp. 9-10.

la ricerca nelle scienze biologiche¹¹, con i contributi più avventurosi delle nuove matematiche.

11. Ma gli esiti della cosiddetta rivoluzione informatica si vanno, anche se a rilento – come si diceva all’inizio – estendendo al campo della clinica, delle professioni mediche nella loro quotidianità, soprattutto con il nuovo tipo di programmi chiamati « sistemi esperti », peraltro ancora fortemente minoritari nell’impiego.

Per « sistema esperto » si intende un programma inserito su computer e integrato da una base dati pure memorizzata, da cui utenti professionali, nell’esercizio delle loro professioni, in una sorta di processo interattivo uomo-macchina, ottengono non solo informazioni ma deduzioni relative al caso che l’utente professionale sta trattando. Naturalmente, a partire da regole e dati già memorizzati e però anche con l’impiego di capacità deduttive, più o meno automatiche, affidate al « sistema esperto » entro l’ambito o dominio programmato¹².

Il primo di questi sistemi esperti di IA ad essere commercializzato è stato il sistema di consultazione Mycin. Il Mycin è stato progettato per fornire in cambio dell’input di dati di esami di laboratorio, e di risposte a domande, relative ad un paziente, le percentuali di probabilità per una serie di malattie infettive¹³. È stato poi svi-

11. Cfr. in proposito, M. Merlini (a cura di), *Achille Ardigò: l'intelligenza artificiale come critica della ragione paradossale*, « Politica ed economia », ott. 1985, pp. 25-27.

12. Per una bibliografia essenziale e recente sui « sistemi esperti di intelligenza artificiale », cfr. J.L. Alty e M.J. Coombs, *Expert Systems. Concepts and examples*, NCC publ., Manchester, 1984, ved. pp. 83-176; A. Barr e E.A. Feigenbaum, *Handbook of artificial intelligence*, 2 voll., W. Kaufman Inc., Los Altos, vol. 1, 1981; vol. 2, 1982; ved. vol. 2, chapter BIII, 175-192; W. Clancey, E.A. Shortliffe, *Readings in artificial intelligence in medicine*, Addison-Wesley publ., Reading, 1983; M. Fieschi, *Intelligence artificielle en médecine*, Masson, Paris, 1984; P. Harmon, D. King, *Expert Systems Artificial Intelligence in Business*, John Wiley & S., New York, 1985; v. pp. 134-175; T.M. Lazzari, F.L. Ricci, *I sistemi esperti. Ricerca scientifica ed applicazioni*, La nuova Italia scientifica, 1985, Roma, ved. cap. 5, pp. 54-90; F.L. Ricci, A. Rossi Mori, O. Stock, *I sistemi esperti come possibili strumenti per l'aiuto alla decisione in medicina*, « Medicina e informatica », n. 2, mag. 1984; P. Szolovits, *Artificial intelligence in medicine*, Westview Press Inc., Boulder 1982.

13. Oltre alla bibliografia di cui alla nota precedente, cfr. sul Mycin, tra gli altri: B.G. Buchanan, E.H. Shortliffe, *Rule-Based Expert Systems. The Mycin Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*, Addison-Wesley Co., Reading (Mass.), 1984.

Accanto ai veri e propri « sistemi esperti » vi sono poi anche dei programmi software con basi dati arricchiti. Nel citato articolo *Why can't a doctor be more like a computer?*, « The Economist », n. cit., si fa riferimento

uppato anche l'Emycin, un *package* che accresce la capacità diagnostica del Mycin attraverso un sistema di regole in cui ciascuna regola ha una struttura di condizioni per agire. In aggiunta al Mycin, l'Emycin viene usato per costruire programmi di consultazione per diagnosi di malattie polmonari, in psicofarmacologia, ecc. Donde i sistemi esperti, sviluppati a partire dall'Emycin: per supporti a terapie psicofarmacologiche (s.e. Headmed), per monitoraggio a pazienti colpiti da cancro e non ricoverati in ospedale (s.e. Oncocin), a pazienti affetti da malattie polmonari (s.e. Puff).

Un altro sistema esperto di IA in campo medico è l'Expert che – come l'Emycin – è stato programmato in linguaggio interlisp. Expert è stato usato sperimentalmente in endocrinologia, oftalmologia e reumatologia. La recente rassegna di T.M. Lazzari e F.L. Ricci riferisce in merito ad altri sistemi esperti come l'Internist (di supporto alla consultazione nell'ambito della medicina interna), il Caduceus (un sistema che – a detta dei produttori dopo 15 anni di ricerche – avrebbe l'abilità di inferire, sulla scorta di dati e di interazioni medico-macchina-paziente, per la diagnosi di circa 600 malattie)¹⁴, il Pip (per il supporto alla diagnosi delle malattie renali), il Casnet (per le malattie del glaucoma), e numerosi altri¹⁵.

Sebbene ancora largamente in fase sperimentale in sedi scientifiche, con nuovi problemi anche di morale professionale, questi sistemi esperti avranno una futura diffusione commerciale, anche per gli indubbi vantaggi che apportano al sempre più difficile compito dell'aggiornamento dei clinici, al crescere sterminato delle risultanze scientifiche bio-mediche.

sempre nel campo della medicina internistica – ad un software nord-americano, il Medicomp, che coprirebbe più di 2 mila malattie, 800 sintomi, 2.200 test bio-medici, 700 test e 1100 medicine. Nell'articolo del « The Economist » si riferisce anche di un altro software, sempre nord-americano, l'HELP (*Health Evaluation Through Logical Processing*), anch'esso di supporto per le diagnosi, già venduto a diversi ospedali Usa. In casa nostra, il n. del 15 novembre 1985 della « Rivista del Medico Pratico » dà notizia di due software – che girano su PC IBM, uno dei quali – denominato Geronte – visualizza sul video sul computer la silhouette a forma d'uomo, riportante i vari parametri che all'esame dell'anziano non sono risultati nella norma. Ved. M.V. Baldelli, G. Pradelli, A. Pirani (della cattedra di gerontologia e di geriatria dell'università di Modena), *Informatica in gerontologia clinica*, « La rivista del medico pratico », n. 132, 1985, pp. 38-46.

14. Cfr. *Say Ah (Beep)*, « Time magazine », 9 dic. 1985.

15. Cfr. T.M. Lazzari, F.L. Ricci, *I sistemi esperti. Ricerca scientifica ed applicazioni*, ed. cit., pp. 59-90.

12. Ciò che interessa sottolineare, nel concludere questa già troppo lunga rassegna critica, è che l'impatto di questa parte avanzata dell'impiego del computer, per quanto gradualistico, non potrà non influire nell'approccio generale del medico verso il paziente, nella « filosofia » delle professioni mediche anche di base.

È difficile ad es., sottrarsi all'ipotesi che tutto ciò possa accelerare la chiusura del ciclo della medicina individualizzante, già ampiamente compromesso dall'industrializzazione non computazionale delle diagnosi e delle terapie.

Quanto più aumenta la differenziazione dei sussidi informatici, fino ai sistemi esperti citati, in funzione di differenziate anamnesi e diagnosi per differenziate malattie, tanto più forse tenderà a prevalere una comprensione-lettura del corpo del paziente (o del proprio corpo, in caso di autodiagnosi assistita dal computer con sempre nuovi programmi) come un composto di sottosistemi, ciascuno capace di comunicare con gli altri solo attraverso « scatole nere » informatiche e ciascuno dei quali richiedente o sollecitante una specializzazione diagnostica sempre più accentuata. La medicina potrebbe per questa via tornare a qualcosa di analogo a quella medicina settecentesca – di cui ci ha parlato Foucault – costruita su divisioni di tipo botanico delle malattie, in famiglie, generi, speci, con una sorta di collettivizzazione dello sguardo medico – come efficacemente sintetizza Alessandro Fontana – e connessa « relativizzazione statistica e seriale della malattia »¹⁶. La tendenziale dicotomia tra approccio empatico, individualizzante, e approccio sistemico, differenziante, nei termini di una complessificazione crescente del rapporto sistema sociale-ambiente – dicotomia ben nota in campo sociologico – avrebbe così omologato anche la medicina, specie via computer.

Cesserebbe quell'analisi e quello sguardo clinico – almeno tra i più aggiornati clinici – che, sempre secondo Foucault, aveva « la caratteristica comune di non comporre e scomporre che per mettere in luce un ordinamento che è l'ordine naturale stesso... »¹⁷.

Nell'eventuale compiersi accelerato di tale mutazione, con la scomparsa dei « segni degli Dei » e dei « segni dei corpi » per l'avvento postremo dei « segni delle macchine » e dei « segni dei codi-

16. Cfr. l'introduzione di A. Fontana; spec. pp. XXVIII e ss., in M. Foucault, *Nascita della clinica. Il ruolo della medicina nella costituzione delle scienze umane*, ed. it. Einaudi, Torino, 1969.

17. Cfr. M. Foucault, *Nascita della clinica. Il ruolo della medicina nella costituzione delle scienze umane*, ed. it. cit., p. 9 ss.

ci », per dirla con Jacques Attali¹⁸, l'organizzazione sanitaria finirebbe per assumere, assai più di ora, valore e simbolo dell'intero assetto della civiltà. Un assetto che peraltro non sarebbe senza contro-tendenze e senza conflitti.

18 J. Attali, *L'ordre cannibale*, Grasset, Paris, 1979.

3. COMUNICAZIONE E TECNOLOGIA NELLA DIAGNOSTICA MEDICA: UNA APPLICAZIONE DELLA INTELLIGENZA ARTIFICIALE

di Graziella Mazzoli

1. Premessa

Con questo lavoro si vuole analizzare un particolare aspetto della comunicazione che, nell'attuale società, possiamo già definire cambiata o rinnovata; la dinamica comunicativa che vogliamo studiare è quella che può essere osservata nell'operare del medico ovvero quella che regola la *quotidiana pratica medica*. Con essa si deve prendere necessariamente in esame la professione medica nel suo complesso. In particolare il nostro intento è quello di analizzare il ruolo che le nuove e sofisticate tecnologie, introdotte di recente, nella diagnostica, hanno assunto rispetto al modello comunicativo ed alla professione medica. Speciale attenzione sarà rivolta ad una applicazione della intelligenza artificiale: il sistema esperto (SE da qui in avanti). Tralasciamo dunque gli aspetti tradizionali che regolano il modello comunicativo nella gestione della salute, che la letteratura sociologica ha approfonditamente esplorato, per mettere in luce il momento della modificazione che può essere osservata con l'introduzione del SE. Prima ci pare, però, indispensabile un accenno a tutta una serie di supporti che si riferiscono all'uso del computer nella diagnostica. È importante infatti dividere gli strumenti diagnostici in due blocchi: mezzi quali ad esempio la Tac, la risonanza magnetica, ecc.; dal SE, strumento interattivo di supporto e di consulenza per il medico. Sia gli uni che l'altro sono degni di riflessioni sotto il profilo sociale e politico, ma diverso è il loro intervento in termini di modificazione di comunicazione, di professionalità e professione medica. I primi, per alcuni, sono addirittura considerati *vecchi media* di diagnosi, ma solo se si confrontano alle applicazioni

di intelligenza artificiale e se l'analisi viene svolta guardando solamente al veloce progresso tecnologico del nostro tempo. Il peso è diverso non per la vetustà dello strumento, quanto piuttosto per il diverso modo di porsi, in termini comunicativi, con il medico e con il fruitore dei suoi interventi.

Cambiata la comunicazione lo è già con l'introduzione dei primi *media* individuati ed essa continua ad evolversi in tal senso. Tutte le loro applicazioni mostrano, infatti, quanto essi siano strumenti *mediativi* e come tali siano dei filtri di comunicazione; la quale comunicazione perde im-mediatezza (intesa non temporalmente ma nell'accezione *sine-medium*) oltre che la valenza empatica.

Tra i due blocchi identificati si frappone il sistema di computerizzazione dei dati, *non-esperto, non-intelligente*. Si intende con ciò l'uso di *data-base* atti a raccogliere informazioni su un territorio più o meno ristretto (ad esempio potrebbe essere una Usl) ed organizzarle in modo tale da permettere di avere, in *tempo reale*, informazioni sufficienti a capire il rapporto tra bisogno degli utenti e possibilità di offerta di servizi: come ad esempio una visita, un ricovero, quali specialisti sono disponibili in termini di unità e di tempo, eccetera. Una sorta cioè di razionalizzazione dei servizi attraverso un programma operante in un computer. Un'altra possibilità di uso di *data-base* è quella di inserire in un programma, dati riguardanti la cartella clinica dei pazienti; a questo programma possono accedere più medici contemporaneamente; ciò si può realizzare all'interno di un ospedale, di un ambulatorio specialistico, ma può disporre anche il medico di base, il libero professionista. Questo sistema permette di catalogare, di visualizzare diagnosi precedenti e l'intera anamnesi del paziente in modo chiaro e, probabilmente, con meno possibilità di errore, almeno in termini statistici. Anche questa tecnologia razionalizza il rapporto, lo cambia soprattutto per quanto riguarda il modello di studio dell'anamnesi da parte del medico, il quale si trova a riflettere, maggiormente, sui dati oggettivi od oggettivati, anche in assenza del paziente.

Non è possibile produrre un giudizio univoco a proposito di questi sistemi di diagnosi: essi racchiudono sicuramente valenze positive ed altre negative, diverse sono le discipline implicate nella loro definizione e studio; ciò che ha valore per la scienza, intesa galileianamente, non lo ha per discipline quale la sociologia ad esempio, ma anche per la medicina che non è solo scienza, ma è anche *arte*, quindi non sempre dimostrabile.

Quanto descritto sopra serve solo di introduzione al nostro precipuo argomento di studio: l'uso del SE in medicina.

2. Il sistema esperto e la professione medica

Nel trattare questa specifica tematica è impossibile non citare e non fare riferimento alla esperienza americana. Partendo dall'analisi dell'impatto che questi mezzi hanno avuto nel sottosistema sanitario negli Stati Uniti, Paese d'avanguardia in questo settore, è maggiormente possibile fare estrapolazioni e formulare ipotesi su quel che potrà accadere anche nel nostro Paese. Al momento la nostra realtà non presenta numerose applicazioni in questo campo, quanto meno non sono tali da essere sufficienti a formulare generalizzazioni. Sempre più, comunque, si registrano sperimentazioni che poggiano su consolidate conoscenze teoriche e tecniche e verifiche pragmatiche oltre che poter osservare sistemi esperti già operanti¹.

Prima di introdurci nello specifico, vorremmo riportare una fra le svariate definizioni di SE. Abbiamo scelto quella che segue:

È un programma operativo che fa uso di conoscenza specifica, è specializzato per risolvere problemi nel dominio della scienza medica fino a raggiungere alti livelli, tale per cui si possa comportare come un esperto medico (o quasi).

Questa interpretazione l'abbiamo usata per definire un SE in uno specifico dominio della conoscenza: la medicina. La stessa, può, analogamente, essere applicata ad altre discipline².

Rifacendosi alla realtà americana constatiamo che i medici, operanti in quella realtà, hanno già dovuto fare i conti con questa innovazione che ha suscitato un fervente dibattito. Da una parte l'interesse per queste tecnologie si è notevolmente sviluppato – e non solo l'interesse, ma le stesse applicazioni –, dall'altra il loro sviluppo, se non ha subito degli arresti sicuramente si è visto creare ostacoli e barriere. Due situazioni che noi qui vorremmo analizzare separatamente.

2.1. I motivi dello sviluppo

I motivi che stanno alla base dello sviluppo sono, prima di tutto, sostanzialmente a base economica, seppure di ordine diverso: a) Sempre di più va diminuendo il costo di microcomputer, utilizza-

1. Come ad esempio *Anemia* (Università di Pavia); *Lito* (Università di Torino); *Oldmen* (Università di Genova); *Biliexpert* (messo a punto dal Consiglio nazionale delle ricerche) ecc

2 È importante tenere, comunque, sempre presente che questo dominio di conoscenza è assai particolare per le componenti psicologiche ed umane proprie dei termini salute e malattie

bili ai fini della formulazione della diagnosi ed in grado di utilizzare programmi di *data-base* ed esperti. b) Va, di contro, sempre aumentando il costo delle cure mediche che accresce, conseguentemente, la preoccupazione di chi si occupa di costi di gestione della spesa sanitaria. Questi *gestori della salute* sostengono (con dati di verifica), che il *budget* per la gestione della salute può diminuire se si introducono sistemi di *data-base* od anche l'uso di programmi esperti. Soprattutto se questi ultimi vengono utilizzati prospetticamente secondo un loro programmato sviluppo. Cioè a dire, almeno secondo quanto sostengono i pianificatori della salute negli Stati Uniti, che, con l'aumento delle spese sanitarie – sia come organizzazione sanitaria, che come intervento sanitario vero e proprio (medici e farmaci) – è inevitabile riconoscere il bisogno di sviluppare nuove ed efficienti capacità tecniche, tecnologiche oltre che manageriali e finanziarie anche in campo di gestione della salute.

Un inciso va fatto, anche se non proprio riferito al nostro tema specifico, non tratteremo infatti dell'uso di SE nella formulazione della diagnosi, ma ancora dell'uso di *data-base* interattivi e, quindi della possibilità di una diversa, più razionale e veloce catalogazione e lettura di tutti quei dati necessari da conoscere per ottemperare alla cura del paziente. Oggi infatti si riscontra una notevole proliferazione di questi dati (sintomi, segni ecc.) e la conseguente enorme quantità di documentazione collegata al dover mantenere aggiornata la cartella clinica del paziente³. L'organizzazione faticosa di tutti i dati, incoraggia particolarmente lo sviluppo di banche dati, di *records* medici automatizzati, di sistemi di informazione ed informatizzazione ospedaliera facilmente utilizzabili. L'uso del computer nei termini descritti, e le possibilità che esso offre al sanitario, seppure, ci pare, che venga dimenticato in questo sottolineare la positività del mezzo e del metodo, l'aspetto umano che più si riferisce ai *mondi vitali*, privilegia l'aspetto razionale più rispondente alle esigenze del sistema.

Questo specifico uso del computer sta prendendo l'avvio anche nel nostro Paese, e già ne conosciamo alcuni esempi operanti anche se le banche dati che si stanno formalizzando in Italia non sono ancora di portata tale da spostare il problema economico e non sono tali da permettere generalizzazioni del tipo fatte dagli studiosi americani. È comunque possibile osservare, anche da noi, la computeriz-

3 L'insicurezza di sé e del proprio stato di salute spinge l'uomo a manifestare la malattia in modo più complesso e di più difficile interpretazione aumentando, così, la quantità di dati da memorizzare da parte del medico.

zazione di informazioni sul sistema sanitario, sia di ordine amministrativo-burocratico sia riferita a specifiche esperienze di costruzione di *records* formalizzati su cartelle cliniche⁴.

Soprattutto in America, in cui i pazienti tendono a ricevere le cure da operatori diversi e più spesso all'interno di ospedali, si verifica il fatto che ogni operatore adoperi la cartella clinica come *metodo primario di comunicazione*; ne consegue che il funzionamento della comunicazione stessa tra sanitari ed anche tra medico e paziente, in termini anche di *efficienza-efficacia*, dipende dalla leggibilità, organizzazione, completezza, scorrevolezza, disponibilità dei dati e delle loro possibilità di aggregazione. Un sistema che contemporaneamente possa offrire all'operatore tutte queste qualità assieme, o la maggior parte di esse, non può che essere visto con disponibilità anche da parte di sanitari. Ed è fin qui che l'uso del computer non può che prevedere nuovi sviluppi e la società non può che incentivarli.

Un altro aspetto dello sviluppo di queste metodologie va sottolineato, più propriamente riferito all'uso di sistemi esperti. Questo che tratteremo si ricollega alla sempre più incidente tendenza, da parte del medico, alla specializzazione. Più precisamente ormai si può parlare di specializzazione all'interno della specializzazione stessa, tendenza o necessità strettamente correlate al continuo svilupparsi ed aumentare delle conoscenze mediche. Ma la specializzazione, seppure delimita il campo della disciplina, allo stesso tempo, non permette, o meglio giustifica meno, la lacuna di conoscenze all'interno del settore specialistico preciso. Ciò spinge il medico, ovvero lo specialista, ad organizzare, nel modo più razionale possibile la propria conoscenza al punto da dover riflettere sulla necessità di tentare una codificazione dei dati conosciuti per non disperderli e per operare di seguito la standardizzazione delle conoscenze in modo da migliorare le possibilità di accedere a dati clinici, a risorse cliniche anche di professionisti operanti in altri territori⁵.

4. Cfr. solo per fare un esempio l'esperienza di Udine - reparto di cardiologia - e della Usl di Pietra Ligure.

5. Questa metodologia, questo processo di razionalizzazione farebbe fronte sicuramente alle esigenze di territori meno favoriti I sanitari ed i pianificatori della salute, operanti in questi territori, con questi sistemi avrebbero realmente l'opportunità, accedendo alle banche dati interattive e disponendo di sistemi esperti, di mantenersi al corrente, di comunicare con colleghi che hanno maggiori possibilità di aggiornare le proprie conoscenze. Ci sarebbe una sorta di intervento di consultazione che potrebbe assumere anche una funzione didattica. Si è pensato, tra l'altro, seppure con presupposti diversi e con scopi differenti di utilizzare sistemi interattivi proprio nel campo di-

Di conseguenza ciò comporta una modifica, se non una rivoluzione, a più livelli della cura, e, in generale, di tutta la pratica medica.

Per concludere questa parte dell'analisi, con la quale si sono voluti evidenziare alcuni motivi alla base dello sviluppo di questi strumenti, si può dire che: 1) si registra attualmente una continua crescita dei costi di gestione della salute quando si usano le metodologie tradizionali di intervento; 2) c'è una crescente esigenza di accedere a conoscenze medico-scientifiche; 3) sono decisamente in aumento le aspettative da parte dei *consumatori della salute*; 4) le situazioni descritte potrebbero essere superate dalla introduzione delle nuove tecnologie, le cui possibilità e potenzialità permetterebbero, nel superare le cosiddette metodologie tradizionali, di offrire una diversa accessibilità alle risorse cliniche più vantaggiosa, almeno in termini quantitativi. Lo sviluppo della introduzione del SE nella diagnostica poggia essenzialmente su questi presupposti.

2.2. *Gli ostacoli allo sviluppo del SE in diagnostica*

In termini di analisi della comunicazione, è importante isolare alcune opposizioni individuate nei confronti dello sviluppo del SE e della sua immissione nella pratica medica.

È bene ed opportuno, perciò, in questa sede interrogarsi subito su quale posizione occupino i medici rispetto allo sviluppo o alla riduzione di questi sistemi. *In primis*, bisogna dire che è stato riscontrato che i medici vivono l'introduzione ed il successivo utilizzo del sistema diagnostico esperto come una loro esclusione dalla decisione finale del procedimento diagnostico. Si sentono espropriati dal momento risolutivo. La comunicazione modifica non solo perché mediata da un mezzo tecnologico, ma soprattutto perché esso non è un semplice *medium transcodificatore di messaggi*, ma trattasi di un *interprete di messaggi* e che *in substantia* modifica il livello (in quantità ma anche in qualità) di partecipazione dell'uomo⁶.

dattico, all'interno della scuola di medicina. Un esempio di SE con tale scopo è *Guidon*. Trattasi di un sistema costruito per rispondere a precise esigenze pedagogiche quindi per interagire con il giovane medico o con lo studente in medicina. Scopo: sussidio didattico e supporto pedagogico sia rispetto all'apprendimento di disciplina medica che alla utilizzazione del sistema.

6. In teoria della informazione diverse sono le macchine per comunicare. Secondo R. Escarpit, (*Teoria dell'informazione*, Editori Riuniti, Roma, 1979) esistono macchine che, a mo' di specchio o relé, trasferiscono semplicemente l'informazione da A a B, quindi transcodificano senza modificare, in nessun senso l'informazione (tutt'al più se ne perde una parte nel trasferimento), e quelle che invece interpretano ed in qualche modo interagiscono con l'uomo

È stato, comunque, più spesso messo in evidenza che, l'uso del SE nella diagnostica, fa riferimento a programmi in cui la conoscenza è strutturata ed organizzata con lo scopo di intervenire come supporto-aiuto nella distribuzione di servizi di medicina, maggiormente atti ad un uso di integrazione, a volte di verifica del lavoro del medico. Ciò non significa perciò esentare il professionista dal compito della diagnosi e della identificazione della terapia. Questo modo di interpretare la funzione del SE è avvenuta da parte dei medici non senza motivazioni reali. Infatti, a volte, l'importanza del ruolo partecipativo del professionista-medico, è stato dimenticato nel tentativo di aspirare a creare un SE che fosse, in parte, sostitutivo del medico (*Mycin*, crediamo, ne è un esempio). È importante perciò, affinché non ci siano equivoci nei ruoli, sottolineare quale debba essere o quale si auspica essere la funzione del SE nella diagnostica: esso dovrà essere una guida, una consulenza per il medico, ovvero uno strumento utile all'interno di un diverso modello di diagnosi che può essere così definita *diagnosi guidata* (già *Neo-mycin* rappresenta un tentativo di modello di diagnosi guidata così come noi la intendiamo). Perché avvenga ciò non è importante solo osservare l'aspetto comunicativo finale, ma anche l'aspetto tecnologico, poiché la realizzazione di un modello di comunicazione piuttosto che un altro, è determinata anche dalla struttura fisica del sistema, dall'architettura del programma.

Se il SE viene inserito in una organizzazione della salute che ne fa l'ultimo uso individuato (diagnosi guidata e non di sostituzione) e la sua base di conoscenze è rappresentata da un ingegnere cognitivo in stretta collaborazione con il medico, che così resta il principale artefice della classificazione dei dati, la consultazione del SE funzionerebbe semplicemente come *pro-memoria*⁷. Avrebbe la fun-

modificando così maggiormente il « sistema di comunicazione ». Ma seppure un *medium*, di qualunque tipo esso sia interviene sempre nel definire un sistema di comunicazione. Nel caso del SE il sistema di comunicazione subisce una modifica più alta rispetto all'introduzione di qualsiasi altro *medium*

7 Oggi molto si dibatte su chi debba essere *l'ingegnere della conoscenza*: il medico o il programmatore? Dato che la medicina non è solo scienza ma anche arte, come si può trasferire l'intuizione del medico in un programma per computer? L'intuizione non è oggettivabile: è una situazione, direbbe Achille Ardigò, non trasferibile e non rappresentabile in una macchina (Introduzione a E. Stein, *L'empatia*, Angeli, Milano, 1986). Ma anche quando si volesse fare o tentare questa operazione, forse riuscirebbe meglio al medico. Egli, allora, dovrà avere sufficiente competenza in termini di elaborazione, di linguaggi e quindi avere un abile addestramento all'uso dello strumento e non solo come utente finale. Con ciò sarebbe auspicabile una produttiva collaborazione che veda i due professionisti sullo stesso piano.

zione di *evidenziare* i livelli della patologia oggetto di analisi, di *suggerire* alcuni trattamenti, di *evidenziare* casi passati conosciuti: ciò al fine di tenere costantemente informato il medico durante il suo lavoro di ricerca diagnostica⁸. Questa utilizzazione del SE lascerebbe al medico la prerogativa della diagnosi.

Questa impostazione non è però stata la base di partenza per la costruzione dei SE in medicina. Si è motivati a credere, perciò che, non essendo stato questo il presupposto iniziale, negli Stati Uniti si sia registrata una ferma opposizione al loro sviluppo da parte dei clinici medici. Maggior disponibilità, quindi, si registra quando: 1) l'ingegnere della conoscenza (colui che rappresenterà le informazioni nel sistema) dipende dall'esperto medico, in termini di rilevazione dei dati e formalizzazione di essi, secondo la procedura che il medico ritiene più consona a sé; 2) il sistema sia operazionalmente semplice; 3) venga perciò mantenuta l'autonomia del medico relativamente alla formulazione definitiva della diagnosi che, rispettando così l'esigenza di dare una risposta ai sintomi del paziente – elementi soggettivi sia dell'atto del comunicarli da parte del paziente che dell'interpretarli da parte del medico – permetta al medico di mantenere quella che gli americani chiamano *diagnostic-pride*; 4) inoltre venga permesso al medico di condurre la terapia e l'intero decorso della malattia in modo autonomo seppure *supportato* da uno strumento di consultazione cui è possibile accedere continuamente, in tempo reale. Il SE avrebbe come fine quello di integrare il lavoro clinico, quello di aiutare a prendere decisioni.

La funzione, a questo livello, può essere comparata a quella operata dall'esperto medico in un tradizionale consulto. Potrebbe rappresentare, in certi casi, una sua sostituzione⁹, almeno quando quello non può essere, anche per motivi logistici, interpellato. In questo nuovo modello di consulto, comunque, vengono a cadere le implicazioni emotivo-personali non ritrovabili nel rapporto uomo-macchina. Oltre alla caduta della componente soggettiva-emozionale è importante evidenziare che l'intera impostazione della scuola di medicina, ovvero il modello di preparazione alla professione medica, viene o dovrebbe subire una trasformazione. L'insegnamento della

8. La possibilità di far uso di questi strumenti è infatti anche considerata prestigiosa e vantaggiosa per i medici.

9. Quando si verifica la situazione per cui un territorio non dispone di esperti-medici e si è obbligati a far giungere uno o più esperti da altri sedi, in questo caso l'uso del SE diventa fondamentale sia in termini di una più veloce risoluzione della malattia (vantaggi per l'individuo) che in termini economici (vantaggi per il sistema sanitario).

medicina poggia, oggi, almeno nel nostro paese, sullo studio delle malattie che fa riferimento all'*analisi dei fatti* e alla *semeiotica*, seppure, sempre di più, giochino un ruolo significativo, al fine della formulazione della diagnosi, esami di laboratorio e l'uso di tecnologie raffinate. Perciò, ancora oggi, nella preparazione del medico si dà importanza minore, almeno sotto il profilo formale, ai processi di razionalizzazione sicuramente meno ambigui ma che più che gli altri possono essere più facilmente rappresentati nella base di conoscenza di un programma *intelligente* per computer. Quando si pensa attualmente e prospetticamente di costruire un SE che possa essere facilmente consultato dal medico, è importante considerare le possibilità che si hanno di rappresentare le modalità del ragionamento con cui il medico raggiunge la decisione. Ma si potrebbe anche pensare che le modalità di raggiungere la definizione della diagnosi e l'intero studio della malattia, per essere rappresentate in un programma esperto, debbano essere modificate. Ciò presupporrebbe una sorta di adattamento, nell'apprendimento della scienza medica, da parte dello studioso, alle modalità di rappresentazione della conoscenza nella macchina? Se la risposta al quesito fosse positiva allora sarebbe indispensabile pensare ad una diversa scuola di medicina. Si modificherebbe, se non addirittura si stravolgerebbe, l'educazione, la professione e la professionalità del medico¹⁰. Noi qui non possiamo, al momento, ipotizzare nessuna risposta sicura. Al momento attuale è solo pensabile che il computer non possa operare secondo la logica dell'esperto umano seppure alcuni linguaggi permettano di rappresentare la conoscenza cercando di simulare o forse emulare la logica dell'uomo, almeno sotto certi aspetti. È comunque pensabile che, se il SE rispetterà, maggiormente, il modello di decisione del medico, si renderà possibile la realizzazione della dinamica comunicativa-tipo che più si avvicina a quella che permette il consulto tra esperti uomini. La logica del modello deve essere il più intelligibile possibile da parte del medico. Se il sistema non potrà ancora rispettare ciò, quanto, il medico, sarà disposto a modificarsi professionalmente e a modificare il suo modello di apprendimento?

¹⁰ Così la medicina tout-court, che è oggi in parte arte ed in parte scienza si razionalizza dando preponderanza alla scienza a scapito della componente arte.

3. Quali gli aspetti peculiari del SE?

Fin qui abbiamo cercato di evidenziare il ruolo del SE nella diagnostica e come questi sistemi inferenziali siano accettati, osteggiati dal medico; quale cioè la sfida tra questi due nuovi poli della comunicazione. Ora, di seguito, evidenzieremo alcuni aspetti del SE che ci dovrebbero permettere di comprendere meglio quanto riferito più sopra: è significativo, perciò, prenderlo in esame almeno sotto tre profili ed evidenziarne: a) l'aspetto meccanico, b) l'aspetto epistemologico, c) l'aspetto psico-sociale¹¹.

3.1. Aspetto meccanico

È importante conoscere la meccanica della interfaccia. Sotto questo profilo e, relativamente anche a quanto detto più sopra, è importante sottolineare, per la riuscita della interazione, che il medico disponga di una apparecchiatura che sia facile da usare, quindi che lo strumento disponga di *display* semplici, cioè, di facile accessibilità, abbia un tempo di risposta veloce e abbia la possibilità di autodocumentazione. A maggior chiarimento di quanto detto prendiamo due esempi di SE e li mettiamo a confronto: *Mycin* e *Neo-mycin*. (Utilizzeremo questi esempi anche nell'analisi degli altri due aspetti). Altri sistemi sono stati costruiti, forse ancora più innovativi anche in termini di interazione, ma, per quello che qui ci riguarda, questo confronto ci pare sufficientemente indicativo ed esplicativo¹². Li abbiamo presi ad esempio perché nascono nello stesso laboratorio di ricerca. Il secondo viene costruito proprio perché il primo non era sufficientemente dinamico a causa, anche, della sua architettura troppo rigida per essere accettata dagli interlocutori.

La rigidità dell'architettura di *Mycin* rendeva possibile solo in modo molto limitato il controllo da parte dell'utente. La conoscenza è rappresentata secondo le regole di produzione del tipo *if/then*. *Neo-mycin* dispone di un meccanismo di rappresentazione della co-

11. Ancora una volta ci rifacciamo alla esperienza americana. Cfr. gli studi ed esperimenti di Shortliffe e *Heuristic programming project*.

12. Altri esempi di sistemi esperti potrebbero essere riportati. Ne elenchiamo alcuni tra i più conosciuti: *Internist*, aiuta la formulazione della diagnosi facendo ipotesi di malattie. Ha una struttura, di rappresentazione della conoscenza, *ad albero*. *PIP*, simula il ragionamento clinico in due modi: categorico e probabilistico. La conoscenza è rappresentata in *frames*. *Casnet*, consta di tre programmi principali: programma di costruzione del modello, di interpretazione dei dati del paziente e ultimo programma che gestisce la base dei dati. Ha possibilità di informarsi direttamente dal medico utente.

noscenza che fa riferimento alle *meta-conoscenze*, molto più interattivo; ne consegue che le modalità di controllo da parte del medico ed i meccanismi di spiegazione accrescano, in qualità e non solo in quantità.

3.2. *Aspetti epistemologici*

Sotto questo profilo è il livello decisionale che viene analizzato. È infatti importante che un programma di SE non si riferisca solo alla rappresentazione della conoscenza, alla possibilità di riferire dati *in tempo reale*, quindi alla velocità delle operazioni; questo programma, infatti, deve giungere a *provvedere* che si arrivi ad una decisione finale. È chiaro che la possibilità di interazione dell'esperto umano con l'esperto macchina determina, più che altre, la definizione del modello di decisione finale. In *Mycin* esiste un problema euristico. Non è facilmente inferenziabile dal medico. *Neo-mycin* è sicuramente più elastico, è maggiormente interattivo, permette di correggere possibili errori, si pone e pone al suo *interfacciatore*, continui 'perché?'. È questo il problema della ricerca.

Se crediamo, perciò, ad un probabile successo di SSEE nella gestione della salute, questi dovrebbero maggiormente rispondere ad alcuni interrogativi e, soprattutto, far fronte ad alcune esigenze dell'esperto-uomo. La sua utilizzazione dovrebbe avere la funzione di informare-educare, peculiarità del consulto tra professionisti, la cui dinamica comunicativa presuppone l'invio di una serie di informazioni circolanti in feedback tale per cui non si determini un resoconto asettico sulla malattia del paziente, ma piuttosto si mantenga, oltre che il livello informativo, anche quello educativo. Anche se il SE, nel momento in cui riveste il ruolo di *simulatore* del consulto medico, dovrà riunire, nella sua base di conoscenza, informazioni e suggerimenti ad esso dati dagli esperti umani e permettere, attraverso l'*interfacciamento* richiesto ed organizzato dall'esperto umano, la decisione finale che deve essere solamente facilitata e favorita dal sistema; questa deve però spettare, in ultima analisi, esclusivamente al professionista. Per giungere a ciò il sistema dovrà *comportarsi* in modo da evidenziare i fatti rilevanti del fenomeno di malattia che l'esperto umano sta studiando. Questo tipo di intervento funziona solo se la rilevazione ed evidenziazione dei fatti avviene in modo facile da codificare, decodificare ed interpretare. È opportuno evidenziare, comunque, che assumono un ruolo più che significativo i linguaggi. Fino a che la macchina non userà il linguaggio naturale (fatto non facile da realizzare al momento attuale) l'abilità dell'esper-

to umano e la riuscita del SE, sarà determinata dall'usare un linguaggio chiaro, di facile comprensione, il più corrispondente alle esigenze del problema da risolvere. Ancora, importante all'interno dell'analisi epistemologica, pare essere la possibilità per l'interlocutore uomo di correggere l'errore, operazione che deve avvenire nel modo più veloce possibile. Il sistema, la cui architettura permette di modificare ed integrare il sapere facilmente e velocemente, fa sì che l'errore possa venire eliminato in breve tempo rispetto al momento della sua identificazione. È possibile che si realizzi ciò quando il sistema fa uso di un modello di rappresentazione della conoscenza flessibile e quando le interazioni tra le vecchie conoscenze rappresentate e le nuove conoscenze introdotte sono garantite dall'uso di metodologie potenti. Ciò è sicuramente più garantito dall'uso di meta-conoscenze e da linguaggi logici raffinati. D'altronde è noto il fatto che, per i costruttori di programmi di SE, è proprio la definizione di un modello di acquisizione di nuove conoscenze ed il loro interfacciamento, con le vecchie conoscenze, ad essere uno dei problemi più incidenti.

Tutto è sufficientemente facile fino a quando la conoscenza da rappresentare poggia su dati statistici, ma un SE non può basarsi su dati statistici solamente, quindi ci si trova di fronte alla necessità di dover rappresentare i « giudizi delle menti degli esperti umani ». È il problema della rappresentazione dell'ambiguità, categoria quest'ultima che è la peculiarità della mente umana. Di fronte a ciò la tecnologia, oggi, si arresta o quanto meno non ha più sicurezze¹³. È comunque importante studiare il problema in termini realistici, per noi più sociologici e pragmatici. Oggi, con le tecniche conosciute, quanto si può raggiungere, in termini di rappresentazione della conoscenza, e quale conoscenza è possibile rappresentare? Sempre più raffinate sono le tecniche di rappresentazione messe a punto dagli ingegneri cognitivi e molti sono gli studi che puntano sulla possibilità di realizzare tecniche interattive che permettano di acquisire conoscenze direttamente dagli esperti medici eliminando, così, gran parte della mediazione tra questi e la macchina attuata dal tec-

13. In un ampio dibattito si è trattato del problema del se e del come la macchina potrà rappresentare il *giudizio delle menti* e l'*intenzionalità* dell'azione e del pensiero dell'uomo per non citare altri aspetti specifici del comportamento umano quali appunto l'emotività, l'empatia, la simpatia, eccetera. Ma per ciò rimandiamo al citato dibattito, ormai storico per gli studi di IA, provocato da Searle con il noto articolo uscito in America nel 1980: *Minds, Brains and Programs* (tr. it. *Menti, cervelli e programmi*, Clup-Clued, Milano, 1984), ed intorno al quale il mondo dalla IA si è scisso in due correnti: i sostenitori della intelligenza artificiale forte e di quella debole.

nico programmatore o dell'ingegnere della conoscenza. Ciò al fine di dare un posto maggiormente partecipativo al medico, quindi maggiori gratificazioni e riduzione del sentimento di estraniamento dalla diagnosi. Non è comunque in questo intervento che è possibile dare una risposta su quanto e su come ciò sia realizzabile. La risposta non può darla il sociologo, è semmai all'ingegnere informatico, cognitivo o, comunque, a tecnici esperti del settore, che spetta il dibattito su questo tema che, comunque, investe e coinvolge tutti i settori della vita umana. Ci occuperemo, quindi, di seguito di un aspetto che ci è più congeniale: quello sociologico e quello che investe specificatamente il tema della comunicazione dell'uomo.

3.3. *L'aspetto sociologico e quello psicologico*

Diverso è l'atteggiamento del medico se si trova di fronte ad un sistema che si presenta più rigido e meno interattivo, di consultazione, come è appunto *Mycin*, da quello che ha quando opera con un sistema come *Neo-mycin* che permette la comunicazione a più livelli, che si pone come consulto-guida ed è, almeno pare, più vicino alla logica umana.

Diverso è anche il tipo di adattamento dei medici a questa innovazione se i sistemi appaiono rigidi oppure se danno possibilità di essere utilizzati come, ad esempio, strumenti di ricerca. In ogni caso, a livelli diversi, la difficoltà di adattamento al mutamento che questo intervento provoca, è quasi sempre riscontrabile. Questa difficoltà si attenua però quando l'uso del SE permette ai medici di realizzarsi come professionisti, di risolvere situazioni, di svolgere compiti che non avrebbero potuto realizzare senza il supporto di questa tecnologia. Il computer, il sistema esperto, assume così il ruolo di potenza, una potenza che si proietta in chi ne fa uso¹⁴.

Tutto ciò necessariamente modifica la metodologia di comunicazione del medico, e soprattutto modifica la interazione tra gli stessi medici. La dinamica comunicativa sposta i suoi poli estremi dell'atto: da medico a medico (per ciò che riguarda la consultazione professionale), il flusso di comunicazioni passa tra medico-macchina-medico. Un tipo di comunicazione, quest'ultima, mediata in quanto

14. In proposito dell'aspetto proiettivo del computer importante è il saggio di S. Turkle, *Second Self* (tr. it. *Il secondo io*, Frassinelli, Milano, 1985) «Quando i computer saranno diventati oggetti comuni della vita quotidiana - nel tempo libero e nello studio come nel lavoro - tutti avranno modo di interagire con essi in modi in cui la macchina agisce come una proiezione di parte dell'io come specchio della mente» (p. 5).

un posto nella dinamica comunicativa viene occupato dalla macchina, che, nel caso da noi studiato, è rappresentato da un medium particolare, esperto ed *intelligente*. È perciò possibile pensare ad una veicolazione di informazioni operanti tramite modelli di feedback immediati.

Questa trasformazione del modello comunicativo può far sorgere, come abbiamo detto, problemi di interazione tra gli stessi professionisti che non sono, al momento attuale, valutabili, almeno nel nostro Paese, ma prevedibili se ci rifacciamo a quanto insegna l'esperienza americana, anche se, non necessariamente questa trasformazione debba creare problemi. Potrebbero infatti, non essere troppo consistenti, se il SE otterrà una equa valutazione delle sue possibilità e dei suoi compiti da parte dell'esperto umano. Una sorta di coscienza delle competenze.

Chi, comunque, studia l'inserimento del SE nel sociale finisce per occuparsi del come sia possibile realizzare la rappresentazione della conoscenza umana. L'interazione è infatti maggiormente realizzabile quando il SE permette al medico il *ragionamento simbolico*, la codificazione del *senso comune*. Ciò significa che il SE può *imparare* grazie alle informazioni date dal medico. Il rapporto non è solo tra medico e macchina, ma ancor prima, tra programmatore, ingegnere della conoscenza ed esperto umano. Questo primo livello di collaborazione (interazione), al momento, è quello che maggiormente garantisce il secondo livello di collaborazione: quello della interfaccia uomo-macchina.

4. Conclusioni

Per concludere, ma ovviamente non per chiudere, anche noi, come già studiosi americani hanno fatto, possiamo porci qualche domanda: a) ci sarà una reale e consistente introduzione, in futuro, in Italia, di SE in diagnostica medica? ed in che modo incideranno nella decisione finale del medico? b) seppure il medico possa avere facilitazioni nella conclusione di una diagnosi, quale ruolo occuperà il paziente in questo nuovo modello diagnostico? c) quale sarà, dunque, il nuovo modello di comunicazione, e a quale forma di comunicazione sociale ed umana si andrà incontro? d) ed, in ultimo, diminuiranno realmente i costi della gestione della salute?

Non ci è possibile, al momento, dare risposta ai quesiti sopra posti, alcuni dei quali possono addirittura apparire polemici o provocatori. Non vogliono essere tali, rispecchiano solo alcune perples-

sità, che sono difficili, oggi, da tradurre in certezze. Una riflessione va comunque, a nostro avviso, fatta a proposito di quale ruolo rivesta, all'interno di un processo comunicativo – è questo, al fine, il nostro reale problema – la personalità modale relativamente a quello che, nel sistema sociale, non può essere classificabile e che, si crede, non rappresentabile negli attuali sistemi esperti, anche in quelli che fanno riferimento ad architetture atte alla rappresentazione della conoscenza tramite meta-conoscenze.

Ancora una ultima riflessione, che si riferisce allo studio degli indicatori efficienza/efficacia. L'evoluzione di questi strumenti considera l'*efficienza* in termini di intervento/prestazione professionale e l'*efficacia* relativamente alla gestione della salute del paziente in una ipotesi di risoluzione della malattia.

Pare però che in questi termini non si siano fatti i conti con l'*individuale*, con il fatto che il bisogno del singolo non sempre corrisponde alle necessità, alla logica del sistema sociale.

Ancora una volta si riscontrano due livelli di complessità: quella del sistema macro e quella dell'individuo; due sistemi, in cui i livelli di comunicazione non sempre coincidono ed in questo caso si crede che un ipotetico rallentamento di una immissione, nella pratica medica quotidiana di SE, sarà dovuto al fatto che l'uomo (sia il professionista che il paziente) abbia la necessità di creare, di costruire legami forti di comunicazione che, noi crediamo, al momento attuale la macchina (sia essa esperta o *intelligente*), non ne permette la realizzazione quando essa è – da sola – l'altro polo della comunicazione.

Nota bibliografica

L'elenco dei volumi che segue (A) è una bibliografia essenziale di riferimento per coloro che intendano approfondire lo studio dei sistemi esperti, più in generale, di quelle possibili applicazioni dell'Intelligenza Artificiale che modificano o possono modificare la comunicazione umana e sociale.

I testi vengono riportati seguendo l'ordine cronologico perché, in questo settore, è molto importante, crediamo, lo sviluppo di tecniche, conoscenze applicazioni e applicabilità dei sistemi ed è perciò significativo visualizzare le pubblicazioni in modo evolutivo.

A parte viene riportata seguendo lo stesso criterio cronologico, una breve bibliografia (B) che riferisce testi che si occupano più specificatamente del problema sanitario rispetto all'introduzione del sistema esperto nella organizzazione della salute.

A *Le applicazioni della Intelligenza Artificiale ed i sistemi esperti*

1985

- T. Forester (ed.), *The Information Technology Revolution*, The Mit Press, Cambridge (Mass)
- R.W. Lawler, *Computer experience and cognitive development. A Child's Learning in a Computer Culture*, Ellis Horwood, Chichester, Sussex.
- T.M. Lazzari, F.L. Ricci, *I sistemi esperti. Ricerca scientifica ed applicazioni*, Nis, Firenze.
- M. Losano, *L'informatica per le scienze sociali*, Einaudi, Torino.
- D. Michie, R. Johnston, *The Knowledge Machine. Artificial Intelligence and the Future of Man*, W. Morroz and Co., New York.
- A. Ruberti (a cura di), *Tecnologia domani. Utopie differite e transizioni in atto*, Laterza-Seat, Bari.
- M. Sharples, *Cognition, Computers and Creative Writing*, Ellis Horwood, Chichester, Sussex.
- G. Zanarini, *L'emozione di pensare, Psicologia dell'informatica*, Clup-Clued, Milano.

1984

- J.L. Alty, M.J. Coomes, *Expert Systems. Concepts and Examples*, NCC publ., Manchester.
- C. Brod, *Technostress*, Addison Wesley, Reading (Mass).
- L. Gallino, *Mente, comportamento e intelligenza artificiale*, Comunità, Milano.
- M. Gondran, *Introduction aux systèmes experts*, Eyrolles, Paris.
- C. Hookway (ed.), *Minds, Machines and Evolution*, Forthcoming, Cambridge U.P.
- M. Yazdani, A. Narayanan, *Artificial Intelligence: Human Effects*, Ellis Horwood, Chichester (GB).
- P. Judea, *Heuristics: Intelligent Search Strategies for Computer Problem Solving*, Addison Wesley, Reading (Mass.).
- D. Michie, *Introductory Readings in Expert Systems*, Gordon and Breach Science, New York
- M. Negrotti, *Cibernetica dei sistemi sociali. Stabilità e mutamento*, Angeli, Milano.
- M. Negrotti (a cura di), *Intelligenze artificiali e scienze sociali*, Angeli, Milano.
- T. O'Shea, M. Eisenstadt (eds.), *Artificial Intelligence, Tools, Techniques and Applications*, Harper-Row, New York.
- D. Ritchie, *The Binary Brain*, Little Brown and Company, Boston (tr. it., *Il doppio cervello*, Comunità, Milano).
- J.F. Sowa, *Conceptual Structure: Information Processing in Mind and Machine*, Addison Wesley, Reading (Mass).
- J.C. Thomas, Shneider (eds), *Human Factors in Computer Systems*, Ablex, Norwood.
- S. Torrance (ed.), *The Mind and the Machine - Philosophical Aspects of Artificial Intelligence*, Ellis Horwood, Chichester.
- S. Turkle, *The Second Self*, Simon and Schuster, New York (tr. it., *Il secondo io*, Frassinelli, Milano).

1983

- R. Ayres, S. Miller, *Robotics, Application and Social Implication*, Bellinger, Cambridge, (Mass).
- A. Cappelli, L. Moretti, *Aspetti della rappresentazione della conoscenza in linguistica computazionale*, Pacini, Pisa.
- E. Feigenbaum, P. McCorduck, *The Fifth Generation: Artificial Intelligence and Japan's Computer Challenge to the World*, Addison Wesley, Reading (Mass.).
- N. Frude, *The Intimate Machine*, New American Library, New York.
- A. Goldberg, D. Robson, *Smalltalk-80, The Language and its Implementation Compared*, Addison Wesley, Reading (Mass.).
- J.E. Hayes, D. Michie (eds.), *Intelligent Systems: the Unprecedented Opportunity*, Halsted Press, Chichester, Sussex.
- F. Hayes-Roth, D.A. Waterman, D.B. Lenat (eds.), *Building Expert Systems*, Addison Wesley, Reading (Mass.)
- P.N. Johnson Laird, *Mental Models*, Harward Univ. Press.
- S.M. Weiss, C.A. Kulikowski, *A Pratical Guide to Designing Expert Systems* Chapman and Hall, Totowa.
- R. Wilensky, *Planning and Understanding: a Computational Approach to Human Reasoning*, Addison Wesley, Reading (Mass.).
- E. Rich, *Artificial Intelligence*, McGraw-Hill, New York.

1982

- D. Randall, D.B. Lenat, *Knowledge Based Systems in Artificial Intelligence*, Mc Graw-Hill, New York.
- R.C. Schank, *Dynamic Memory: a Theory of Reminding and Learning in Computers and People*, Cambridge Univ. Press.

1981

- A. Barr, E.A. Feigenbaum, P.R. Cohen, *Handbook of Artificial Intelligence*, 3 voll., W. Kaufman, Los Altos.
- J. Hangéland (ed.), *Mind Design*, Mit Press, Cambridge (Mass.).
- D.R. Hofstadter, D.C. Dennet, *The Mind's: I: Fantasies and Reflections on Self and Sone*, Basic Books, New York (tr. it., *L'io della mente*, Adelphi, Milano).
- R.C. Schank, C.K. Riesbeck, *Inside Computer Understanding*, Lawrence Erlbown, New York.

1980

- E. Charniak, C.K. Riesbeck, D. McDermott, *Artificial Intelligence Programming*, Lawrence Erlbaum, New Jersey
- R. Davis, D. Lenat, *Knowledge-Based Systems in Artificial Intelligence*, Mc Graw-Hill, New York.
- T. Forester, *The Microelectronic Revolution*, Blackwell, Oxford.
- J. Nilsson Nils, *Principles of Artificial Intelligence*, Tioga, Palo Alto.
- I. Searle, *Minds, Brains and Programs, The Behavioral and Brain Science*, (tr. it. a cura di G. Tonfoni, *Menti, cervelli e programmi, un dibattito sull'intelligenza artificiale*, Cluep, Milano).

1979

- M. Dertouzos, J. Moses (eds.), *The Computer Age: a Twenty Year View*, Mit Press, Cambridge (Mass.).
- H.L. Dreyfus, *What Computers Can't Do: the Limits of Artificial Intelligence*, Harper and Row, New York.
- R. Kowalski, *Logic for Problem Solving*, North-Holland, New York
- P. McCordue, *Machine Who Think*, W.H. Freeman, S. Francisco.
- D. Michie, *Expert Systems in the Micro-Electronic Age*, Edinburgh Univ. Press, Edinburgh.
- T. O'Shea, *Self Improving Teaching Systems. An Application of Artificial Intelligence to Computer Assisted Instruction*, Birkauser, Boston
- J.A. Robinson, *Logic: Form and Function*, North-Holland, New York.
- A. Sloman, *The Computer Revolution in Philosophy*, Harvester, Brighton.

1978

- D.R. Hofstadter, *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid*, Basic Books, New York (tr. it., *Gödel, Escher, Bach, Un'eterna ghirlanda brillante*, Adelphi, Milano)

1977

- M. Boden, *Artificial Intelligence and Natural Man*, Basic Books, New York.
- P. Kraft, *Programmers and Managers: the Routinization of Computer Programming in the United States*, Springer-Verlag, New York-Berlin
- R. Schank, R. Abelson, *Scripts, Plans, Goals and Understanding*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, N.J.
- H. Winston, *Artificial Intelligence*, Addison Wesley, Reading (Mass.).

1976

- J. Weizenbaum, *Computer Power and Human Reason: From Judgement to Calculation*, W.H. Freeman, San Francisco.

1975

- Bobrow, Collins (eds.), *Representation and Understanding*, Academic Press, New York

1972

- A. Newell, H. Simon, *Human Problem Solving*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

1970

- M. Apter, *The Computer Simulation of Behavior*, Harper e Row, New York.

1969

- H.A. Simon, *The Sciences of Artificial*, Mit Press, Cambridge, (Mass.).

1964

- A. Ross Anderson, *Minds and Machines*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

1963

- E.A. Feigenbaum, I. Feldman (eds.), *Computers and Thought*, McGraw-Hill, New York.

B *Il computer in medicina*

1985

- V. Tagliasco, *Eidologia medica*, Gruppo Editoriale Jackson, Milano.
 G. Boatti, M. Salvatori, *Il computer per il medico*, Gruppo Editoriale Jackson, Milano.

1984

- M. Fieschi, *Intelligence artificielle en medicine*, Masson, Paris.
 B.G. Buchanan, E.H. Shortliffe, *Rule-Based Expert Systems. The Mycin Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*, Addison-Wesley, Reading (Mass.).

1983

- W. Clancey, E.A. Shortliffe, *Readings in Medical Artificial Intelligence*, Addison Wesley, Reading (Mass.).
 E.H. Shortliffe, *The Science of Biomedical Computing*, Stanford University Press, Stanford.

1982

- P. Szolovits, *Artificial Intelligence in Medicine*, Westview Press Boulder.
Atti del Convegno nazionale informatica, Fiera di Padova, vol. 2, Ediz. Fiere di Padova, Padova.

1981

- W.J. Clancey, R. Letsinger, *Neomycin: Reconfiguring a Rule-Based Expert System for Application to Teaching*, in «Proceeding of the Seventh Ijcai».
 W. Van Mell, A.C. Scott, J.S. Bennet, M. Peairs, *The Emycin Manual*, Stanford University Press, Stanford.

1976

- Istituto di Fisica A. Righi - Università di Bologna, *L'impiego dell'elaboratore elettronico in medicina*, Clueb, Bologna.
 E.H. Shortliffe, *Computer-Based Medical Consultations: Mycin*, Elsevier, New York.

Ci sembra anche opportuno, a questo punto, non dimenticare gli aspetti tradizionali della dinamica comunicativa medico-paziente, della comunicazione del sintomo, del significato che la salute assume nella nostra società e della professione medica, perciò, qui ricordiamo alcuni volumi che trattano questi temi seppure non vogliamo pretendere di offrire una bibliografia esaustiva ma solo alcune indicazioni di massima. Seguiamo lo stesso metodo cronologico, anche se, in questo caso sia meno significativo.

1986

- P. Guidicini, G. Mazzoli, *L'equivoca certezza dei legami forti*, Angeli, Milano.

1985

- AA.VV., *Scienze sociali e medicina di fronte ai mutamenti comunicativi nel sistema sanitario*, Istituto Italiano di Medicina sociale, Roma 1985 (cfr. in particolare la relazione di A. Ardigò « Il ruolo della comunicazione nel sistema sanitario »)

1983

P.P. Donati (a cura di), *La sociologia sanitaria*, Angeli, Milano.

1982

P.P. Donati, *Salute e analisi sociologica*, Angeli, Milano.

A. Piperno, A. Ranieri, *Il medico generico nella medicina di base*, Angeli, Milano.

1981

G. Mazzoli, *Malattia e repertorio simbolico*, Montefeltro, Urbino.

A. Ardigò (a cura di), *Per una sociologia della salute*, Angeli, Milano.

1980

G. Attali, *Vita e morte della medicina, l'ordine cannibale*, Feltrinelli, Milano.

1979

G.A. Maccacaro, *Per una medicina da rinnovare*, Feltrinelli, Milano.

1978

D. Robinson, *Patients, Predictioners and Medical Care: Aspects of Medical Sociology*, Heinemann Medical Books, London.

P. Guidicini, *Uomo salute territorio*, Città Nuova, Roma.

A.L. Cochrane, *L'inflazione medica. Efficacia ed efficienza nella medicina*, Feltrinelli, Milano.

1977

C. Lachaud, *Potere medico e malattia*, Il Pensiero Scientifico, Roma.

I. Illich, *Nemesi medica*, Mondadori, Milano.

1975

M. Sapiet, *La formazione psicologica del medico da Balint a oggi*, Etas Compass, Milano.

E. Balint, S. Norell, *Sei minuti per il paziente*, Guaraldi, Firenze.

1974

G. Bert, *Il medico immaginario e il malato per forza*, Feltrinelli, Milano.

G. Berlinguer e al., *Crisi della medicina*, Editori Riuniti, Roma.

1972

E. Freidson, *Professional Dominance, The Social Structure of Medical Care*, Aldine, Chicago.

1971

J.P. Valabrega, *La relation thérapeutique*, Flammarion, Paris.

1970

E. Freidson, *Profession of Medicine: A Study of the Sociology of Applied Knowledge*, Dobb Mead, New York.

1969

M. Foucoult, *Nascita della clinica*, Einaudi, Torino.

1968

E.J. Jaco, *Patients, Physicians and Illness*, Free Press, New York.

1965

T. Parsons, *Il sistema sociale*, Comunità, Milano

1962

S. King, *Perception of Illness and Medical Practice*, Russel Sage, New York.

1961

M. Balint, *Medico, paziente, malattia*, Feltrinelli, Milano.

1959

C. Mannucci, S. Pozzani, E. Spaltro, G. Trentini, *La crisi della medicina. Inchiesta sulla professione medica*, Nuova Mercurio, Milano.

Parte terza

1. IL PROBLEMA DELLA GENERATIVITÀ DEI SISTEMI SOCIALI COMPLESSI: UN'INDAGINE SUI MODELLI

di Giovan Francesco Lanzara

1. Introduzione: il problema della generatività dei sistemi sociali

Gli analisti e gli scienziati sociali che dedicano la loro attività di ricerca alla modellizzazione dei sistemi sociali e delle organizzazioni complesse non possono fare a meno oggi di interrogarsi sulla *qualità* delle rappresentazioni contenute nei loro modelli e sulla capacità di descrizione di tali modelli. Infatti, l'imprevedibilità degli eventi e dei *patterns* strutturali che hanno caratterizzato la storia recente dei nostri sistemi sociali, la crisi della capacità di governo patita dagli organi che avrebbero dovuto garantire la stabilità e la regolazione, hanno fatto sorgere legittimi interrogativi sulla adeguatezza delle nostre rappresentazioni delle morfologie, delle strutture e delle dinamiche evolutive dei sistemi sociali complessi, e sulla capacità dei nostri attuali modelli di cogliere e descrivere gli aspetti fondamentali della fenomenologia del mutamento.

Una caratteristica comune di modelli sistemici troppo spesso o troppo esclusivamente orientati a obiettivi di regolazione e di controllo (*management*), e troppo poco o troppo episodicamente all'interpretazione e alla comprensione (*understanding*), sembra essere una sottovalutazione delle capacità di generazione e di autoristrutturazione di sistemi sociali. Forse le rappresentazioni cognitive con le quali abitualmente lavoriamo sottovalutano le capacità generative, produttive, e trasformative dei sistemi sociali, forse esse non sono neppure in grado di comprenderle nell'ambito del proprio dominio di descrizione¹.

1. Gli sviluppi della cibernetica e dell'intelligenza artificiale, e le loro estensioni – analogiche e applicative – alle scienze sociali, hanno suscitato controverse questioni epistemologiche concernenti la radicale riconcettualizzazione della realtà proposta dalle scienze della comunicazione e del controllo, e in particolare il problema della co-determinazione di mente e ambiente artificiale. Cfr. Geysen, Van der Zouwen (1978), von Foerster (1982).

Al problema della rappresentazione della generatività dei sistemi sociali è dedicata la riflessione riportata in queste pagine². La generatività di un sistema sociale può essere definita in prima approssimazione come la capacità che un sistema sociale ha di ristrutturarsi internamente e in modo endogeno, come la sua propensione a produrre nuove « organizzazioni » di se stesso. Essa indica il manifestarsi di « proprietà emergenti », le quali non possono essere completamente dedotte da (o ricondotte a) stati e proprietà antecedenti del sistema. L'interrogativo all'origine della mia esperienza di ricerca e della mia riflessione è dunque il seguente:

1. in che modo possiamo rappresentare le qualità generative riproduttive, e trasformative di un sistema sociale o di un'organizzazione complessa?

o anche:

2. come è possibile rappresentare la capacità che un sistema sociale ha di ristrutturarsi in modo creativo? vale a dire la capacità di produrre sempre nuove strutture e forme cangianti di se stesso?

Il tipo e la qualità della risposta che si può dare a questo interrogativo dipendono dal tipo di rappresentazione che l'analista costruisce, e quest'ultima a sua volta dipende strettamente dalla qualità della conoscenza che l'analista riesce a produrre sui sistemi sociali oggetto della rappresentazione. L'attenzione teorica viene spostata dall'oggetto in sé alla sua rappresentazione, e alle operazioni necessarie per rappresentarlo. La classica questione ontologica della natura o dell'essenza dei sistemi sociali (o della società) e del loro mutamento viene tradotta nel problema cognitivo e metodologico della qualità della conoscenza incorporata nei nostri modelli della realtà. La costruzione di un modello è un'impresa tipicamente cognitiva: i modelli sono artefatti il cui rapporto con ciò che chiamiamo « realtà » è di natura ancora controversa ma certamente non speculare. I modelli non rispecchiano un mondo sotteso, ma in un certo senso « costruiscono » la realtà, nel senso che tendono a imporre il loro lessico. Costruire un modello significa imporre una struttura, un ordine, a certi fenomeni che osserviamo e che ci sembrano significativi: si fanno in sostanza operazioni e tentativi di mappatura. Da un punto di vista cognitivo allora il problema della modellizzazione nelle scienze sociali può anche essere formulato in questo modo:

1. che cosa è possibile conoscere di un sistema sociale?

2. quale e quanta conoscenza deve essere immessa in un modello

2. Riflessione già affrontata in via preliminare in Lanzara (1983).

perché questo rappresenti un sistema sociale in modo competente o almeno soddisfacente?

La qualità della conoscenza che viene incorporata in un modello dipende dalle modalità di segmentazione tacite o esplicite, standard o insolite, con cui un analista « legge » e organizza il flusso degli eventi e delle sue esperienze: ciò ch'è possibile conoscere di un sistema sociale dipende dalle premesse cognitive, dalle segmentazioni, dalle mappe e dai criteri di rilevanza che l'analista adotta, non sempre in modo autocosciente, nel corso della sua indagine.

Nonostante che le possibilità di rappresentazione siano innumerevoli, due fondamentali strategie caratterizzano la costruzione dei modelli: o si semplifica il mondo o si complica la teoria. Se si impongono restrizioni severe al mondo (tutti i possibili stati di cose) e si riduce la conoscenza del mondo a poche primitive, ci si espone al rischio della eccessiva specificità e della non generalizzabilità o estendibilità dei modelli. Si costruiscono così modelli potenti ma validi su domini molto ristretti. Se invece si assume la complessità del mondo e « si estende » la teoria, ci si espone allora al rischio dell'ambiguità e della genericità. Si costruiscono questa volta modelli scarsamente potenti su domini più estesi o su più domini. Il dilemma tra generalità e potenza dei modelli segna tutto il lavoro di ricerca dell'analista: se da una parte l'eccessiva specificità moltiplica la possibilità di eccezioni, di casi cioè che non rientrano nel dominio di descrizione del modello, dall'altra l'eccessiva generalità può dare adito ad indeterminatezza.

Come si è detto, esistono molti tipi di descrizioni possibili di un sistema sociale, tra cui ci sono somiglianze, differenze e intersezioni. Nelle pagine che seguono prenderò in esame tre famiglie di modelli in relazione al problema della generatività: i modelli dinamico-cibernetici, i modelli morfogenetici, e i modelli linguistici. Ciascuna di queste tre famiglie di modelli sottende diverse modalità di segmentazione del flusso degli eventi, diverse premesse, su ciò ch'è rilevante e che viene quindi trattato come *figura* e su ciò che invece funge da *sfondo*. Ciascuno di essi dà una specifica immagine di un sistema sociale e dei suoi meccanismi di mutamento. La presentazione in sequenza delle tre famiglie di modelli potrà forse dare adito all'impressione che ogni tipo successivo di descrizione costituisca ciascuno il superamento del precedente. Pur non essendo sostituibili l'uno all'altro, i tre tipi di descrizione stanno tra loro in rapporto di complementarità, e non di mutua esclusione. La rappresentazione di un complesso fenomeno di mutamento deve necessariamente appoggiarsi sulla « triangolazione » di descrizioni multiple

fatte a partire da diverse premesse osservative. Proprio in tale molteplicità delle descrizioni sta l'equivocità del mutamento.

Un'indagine sulle rappresentazioni soggiacenti a diverse famiglie di modelli, come quella qui proposta, è di fatto una riflessione sul ruolo dell'osservatore in relazione a ciò che viene osservato e sul ruolo del linguaggio di descrizione utilizzato dall'osservatore. La valutazione e il confronto dei tre tipi di modelli saranno dunque fatti non in relazione al loro rigore empirico o alla loro utilità pratica, ma in base ad un altro criterio: *la qualità della rappresentazione* che essi propongono. Non mi pongo dunque tanto problemi di corrispondenza tra modello e realtà, quanto semmai problemi di semantica del modello. È importante capire in che modo il modello costruisce e organizza il mondo che descrive, quali sono per il modello gli oggetti e le relazioni semanticamente rilevanti di tale mondo. Spesso è proprio attraverso un'indagine sui limiti delle rappresentazioni che riusciamo a cogliere la portata e il campo di applicazione di un modello³.

2. I modelli dinamico-cibernetici e i limiti della regolazione

La prima famiglia di modelli che prenderemo in esame è quella dei modelli detti « dinamico-cibernetici », di cui viene illustrato qui solo un esempio standard: un modello di simulazione dinamica del sistema scolastico e del mercato del lavoro (fig. 1). Sulla base di questo modello-prototipo imposterò le mie argomentazioni. All'origine dell'esperienza di simulazione sta il problema di come sia possibile rappresentare la dinamica di un sistema sociale complesso come il sistema scolastico italiano⁴. L'obiettivo della simulazione era quello di mettere a punto uno strumento euristico che permettesse un'indagine qualitativa sui comportamenti dinamici del sistema scolastico. Un classico metodo di simulazione per descrivere la struttura e il comportamento di un sistema complesso è quello della *dinamica dei sistemi* basato sulla teoria del controllo a feedback d'informazione⁵.

3. Karl Deutsch (1963) mette in luce la rilevanza di criteri di modellizzazione relativi alla capacità di descrizione e alla potenza organizzativa dei modelli, oltre ai criteri di corrispondenza empirica.

4. Cfr. Lanzara (1984a) e (1984b).

5. Cfr. Forrester (1961) (1968) (1969) (1971) (1973); D.H. Meadows, D.L. Meadows e al. (1972).

La *dinamica dei sistemi* contiene una teoria della rappresentazione dei sistemi e una teoria della struttura, di caratteristiche assai diverse da quelle tipiche dei modelli a base statistica dominante utilizzati in econometria e in sociometria. La *dinamica dei sistemi* infatti dà una rappresentazione della struttura dei sistemi sociali in termini di livelli e flussi (*stocks-and-flows*) collegati da anelli di retroazione e dalla rete di informazione contenente le relazioni causali tra i flussi e i livelli (o stati).

La costruzione del modello consiste nello specificarne la struttura dei circuiti elementari di retroazione, selezionando sia le variabili di stato rilevanti (i livelli) che rappresentano le accumulazioni di quantità (per esempio, nel modello del sistema scolastico in fig. 1, i livelli della popolazione studentesca ai vari gradi di istruzione) sia le variabili di flusso che rappresentano gli indici di variazione nel tempo delle quantità (per esempio, in fig. 1, i tassi annuali di iscrizione e di licenziamento degli studenti).

Il comportamento dinamico del sistema è determinato in gran parte dalla struttura, e non tanto dal valore numerico dei parametri. La struttura è espressa matematicamente in termini di equazioni alle differenze finite⁶. Un sistema sociale e la sua dinamica sono rappresentati in tempo continuo e vengono poi simulati con un algoritmo che calcola approssimazioni discrete degli integrali di stato e delle variabili di flusso. La struttura è caratterizzata dalla nonlinearità delle relazioni tra le variabili e i parametri. Gli effetti della nonlinearità sono tali che anche una struttura semplice può generare comportamenti complessi e diversificati nel tempo.

Quali dunque sono i limiti di questa rappresentazione di un sistema sociale complesso? Quale tipo di descrizione offrono i modelli dinamico-cibernetici tipici della teoria dei sistemi della prima generazione? Quanto realisticamente il modello su illustrato descrive il comportamento dinamico del sistema scolastico, e quali aspetti esso trascura? Ci si può chiedere insomma se ogni fenomeno di mutamento che caratterizza la storia del sistema scolastico possa essere ridotto o compreso nell'ambito di questa descrizione.

Possiamo dire che i modelli dinamico-cibernetici rappresentano i sistemi sociali come automi complessi finiti con opzioni di comportamento discrete e strutturalmente invarianti. Essi permettono lo studio dei comportamenti dinamici, anche controintuitivi, dei sistemi

6. Queste sono approssimazioni di equazioni che rappresentano integrali. Un sistema dinamico è tipicamente descritto in termini di equazioni differenziali in n variabili e m parametri. Il discorso sulla qualità della rappresentazione è valido anche per le equazioni differenziali.

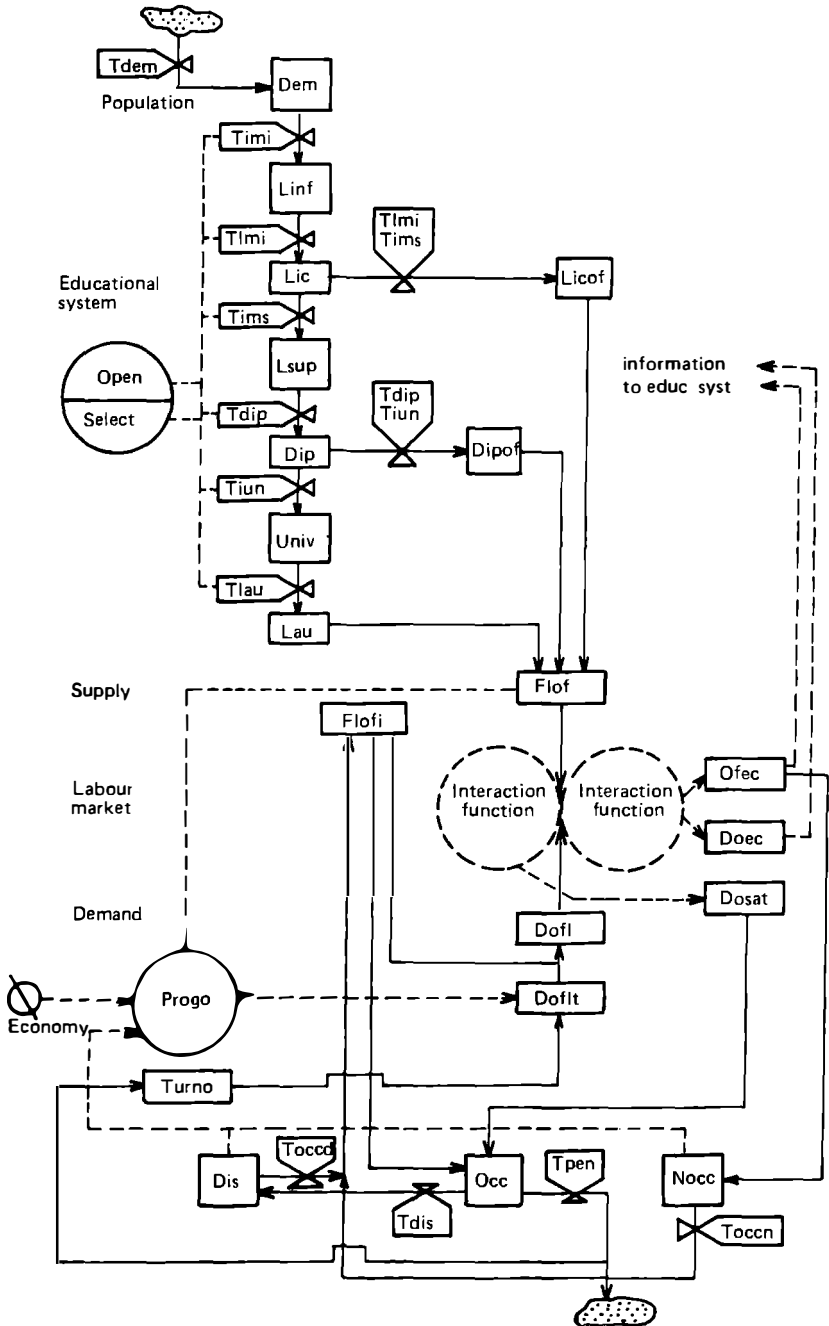


Fig 1 - Un modello di simulazione dinamica del sistema scolastico e del mercato del lavoro

complessi, ma solo quelli generati da (o associati a) una particolare struttura che si suppone invariante nel corso della simulazione, così come fisse restano le procedure di calcolo. Il comportamento dinamico è dunque rappresentato come un flusso all'interno di una struttura (*rate-dependent*). Applicato alla simulazione dei sistemi complessi, il modello riproduce solamente il comportamento di elementi prefissati, legati da relazioni invarianti, anche se a volte queste relazioni sono quasi « invisibili », perché è difficile comprendere la struttura e la direzione della causalità che connette gli elementi.

Il mutamento di un sistema sociale è descritto come una dinamica in uno spazio di rappresentazione fisso: esso contempla un insieme fisso di comportamenti, ma non investe la struttura che sostiene i comportamenti. Un processo di mutamento è qui una sequenza temporale di stati sistemici. Il sistema percorre traiettorie continue descritte da variazioni nei valori numerici delle variabili di stato. La regolazione e il « pilotaggio » del sistema vengono effettuati variando i valori numerici dei parametri di controllo. I modelli cibernetici danno quindi descrizioni deterministiche chiuse: i sistemi sociali sono visti come macchine deterministiche complesse. C'è un certo « fatalismo » programmato in questo tipo di rappresentazione ⁷.

La *dinamica dei sistemi* permette di descrivere situazioni di disequilibrio ed effetti controintuitivi propri della struttura delle interazioni, ma non può trasformare ciò che all'inizio si presenta come un fenomeno emergente, una deviazione del comportamento o uno stress sulla struttura, in un nuovo elemento della struttura. I modelli della DS possono solo accumulare quantità e *stresses* nei livelli preordinati, o inviare messaggi di retroazione che cambiano le prestazioni funzionali e addirittura invertono la direzione dell'accumulazione, ma non potranno *mai* modificare la struttura del modello. Per esempio (vedi fig. 1): 1) l'offerta eccedente OFEC può essere accumulata da un meccanismo e successivamente annullata da un meccanismo che « lavora » in senso contrario senza lasciare traccia alcuna sulle interazioni nel mercato del lavoro; 2) il livello dei non-occupati NOCC può essere accumulato fino a valori molto elevati, e poi essere di nuovo abbassato in modo perfettamente reversibile senza mai porci il problema se e come tali oscillazioni abbiano una

7. Si cerca di aggirare il determinismo descrivendo i processi di mutamento con modelli markoviani che comportano la sostituzione di una macchina probabilistica ad una deterministica: le transizioni tra stati sono governate da probabilità. Ma, anche se probabilistica, si tratta pur sempre di una rappresentazione « macchinale »

influenza sulla struttura stessa del sistema scolastico o dell'occupazione. Il modello non è quindi in grado di descrivere e di prevedere se e in qual modo una storia di offerta eccedente o di elevati livelli di nonoccupazione « genera » nuove articolazioni strutturali e nuovi strati del sistema scolastico, per esempio un altro livello di attività consistente in corsi universitari postlauream o in corsi di formazione professionale e di specializzazione, i quali funzionano a mo' di prolungamenti dell'istruzione che assorbono lo *stress* sul mercato del lavoro. Questo il modello non lo può fare, proprio perché non prevede una retroazione o una qualsivoglia interazione tra comportamento dinamico e struttura del sistema. I flussi passano attraverso la struttura lasciandola stranamente intatta, i processi sono reversibili, e gli *stresses* sul comportamento (OFEC » O, NOCC » O) possono essere riassorbiti senza modificare la struttura.

I modelli della dinamica dei sistemi, e in genere tutti i modelli cibernetici della prima generazione, non possono simulare l'accadere di eventi e di fenomeni generativi che comportano un'alterazione della struttura del sistema rappresentato. Questi eventi restano al di fuori e al di là dell'orizzonte delle possibilità di descrizione di questi modelli: semplicemente *non esistono* in questo tipo di descrizione, nella quale non si fanno considerazioni « genetiche », e che resta puramente cibernetica. Processi quali le differenziazioni e le modificazioni strutturali, l'emergenza di nuove forme a partire da *stresses*, tutti implicanti una trasformazione discontinua della struttura e non classificabili come « dinamici » in senso stretto, non sono rappresentabili da questi modelli. La descrizione ch'essi rendono non coglie le qualità riproduttive, trasformazionali, e generative proprie dei sistemi sociali, che caratterizzano i fenomeni evolutivi più interessanti.

I processi di mutamento dei sistemi complessi sono infatti caratterizzati da emergenza di nuove proprietà e morfologie, dalla genesi di nuove forme di organizzazione. Le rappresentazioni dinamico-cibernetiche possono efficacemente render conto del comportamento quando il sistema funziona con una morfologia stabile e controllabile, e quando il problema è di regolare e riassorbire le deviazioni che possono destabilizzare tale morfologia, ma falliscono quando si tratta di contrastare o guidare processi che contemplan trasformazioni strutturali e salti discontinui a nuovi *patterns* di comportamento e a nuove morfologie. I modelli cibernetici del comportamento sono orientati al problema della regolazione e non a problemi di innovazione strutturale e di morfogenesi. Essi assumono implicitamente che il comportamento del sistema avvenga in futuro così come è avvenuto in passato, sulla base cioè degli stessi insiemi di pa-

rametri e di variabili. Ma uno dei fenomeni evolutivi più importanti è basato proprio sullo « slittamento parametrico » e sulla presenza di « punti di rottura » nei parametri che normano il comportamento: gli insiemi di parametri di controllo che governano il comportamento di un sistema complesso possono dunque mutare nel tempo.

In qual modo allora si passa da una famiglia all'altra di parametri o da una struttura di stati ad un'altra struttura di stati, derivata dalla precedente? Come descrivere fenomeni di cambiamento che si presentano non come flussi entro una struttura, ma come trasformazioni trans-strutturali? Infine: come tener conto del fatto che per la maggior parte dei sistemi sociali il controllo ha in genere una struttura gerarchica, composta di più livelli ciascuno dei quali controlla il livello inferiore⁸? Per rispondere a queste domande sono necessari modelli che danno rappresentazioni qualitativamente diverse di un sistema sociale.

3. I modelli morfogenetici: una fenomenologia della discontinuità

Gli studi matematici di René Thom sulla stabilità strutturale e sulla morfogenesi permettono un trattamento formale dei processi qualitativi di trasformazione e danno indicazioni metaforicamente suggestive (anche se non operative e, soprattutto, non conclusive!) per impostare il problema della rappresentazione della generatività nei sistemi sociali⁹. La prospettiva morfogenetica vede il mutamento come un processo di trasformazione che investe la struttura e le regole stesse di comportamento di un sistema nel corso del tempo¹⁰. Essa non esclude affatto che nei sistemi sociali avvengano processi graduali e continui di regolazione, e che ci siano aspetti che interessano la stabilità di una data struttura sociale, ma non riduce ad una fenomenologia di moto cinematico o di flusso tutti i processi di mutamento nei sistemi sociali. La morfogenesi non è descrivibile come un fenomeno dinamico: essa tocca direttamente le modalità di formazione, di sviluppo e di eventuale degenerazione di diverse forme

8. Il ruolo delle « cybernetic hierarchies » nel controllo e nell'evoluzione dei sistemi complessi è stato per primo suggerito da Deutsch (1963), e successivamente ripreso e trattato da Simon (1969), Pattee (1976), Baumgartner, Buckley, Burns, Schuster (1976), Alker (1978).

9. Cfr. Thom (1972) e (1974)

10. Nelle scienze sociali il primo che ha introdotto il tema della morfogenesi, anche se in modo discutibile, è stato Walter Buckley (1967). Vedi tuttavia la sua più recente posizione (Buckley, 1979).

organizzative. È perciò piuttosto un fenomeno (trans-strutturale) di transizione da strutture a strutture derivate.

Il passaggio da una forma all'altra, da una struttura di stati ad un'altra, avviene attraverso punti di biforcazione. È possibile mostrare come nuove morfologie di un sistema possano emergere e consolidarsi a partire da discontinuità locali – *stresses* – nella morfologia di partenza, a partire cioè da punti singolari in cui piccole variazioni nei valori dei parametri di controllo di un sistema comportano mutamenti qualitativi macroscopici nei valori numerici delle variabili di stato e quindi nel comportamento del sistema. In tali punti critici la regolazione è inefficace e il sistema non può più conservare una morfologia stabile: esso allora « salta » in un'altra configurazione descritta da nuove variabili di stato e controllata da un nuovo insieme di parametri di controllo. È qui da far notare che in tali processi di mutamento discontinuo ciò che nella precedente morfologia era un parametro di controllo esterno può diventare nella morfologia derivata una variabile di stato interna, cioè un elemento strutturale, una *forma* del sistema. Così pure gli *stresses* che si manifestano su una morfologia possono venire « internalizzati » come *stati* o *forme* di una nuova morfologia. Viceversa, elementi costitutivi di un sistema possono venire espulsi o « esternalizzati » nella formazione di nuove morfologie¹¹.

Mi preme mettere in rilievo che quando cambiano gli insiemi di variabili e di parametri significativi che descrivono (in una rappresentazione) il sistema stesso, cambiano in pratica gli elementi lessicali e le regole sintattiche mediante cui un sistema è rappresentato. Ciò significa che il sistema ha una nuova rappresentazione, che è una « cosa » in parte o del tutto diversa da quello di prima, ed è sottoposto a un nuovo insieme di regole di controllo. La morfogenesi dunque è un tipo di mutamento che comporta, tra le altre cose, anche una trasformazione dello spazio concettuale e semantico in cui un sistema viene rappresentato. I modelli morfogenetici possono aiutare a rappresentare i cambiamenti di identità di un sistema¹². Essi entrano in gioco quando il sistema attraversa zone di instabilità, quando cioè esso esce dal campo di stabilità che gli è proprio. In queste condizioni di funzionamento le regole che governano il comportamento del sistema possono fallire e il sistema viene allora attraversato da « correnti » di ristrutturazione che producono cambiamenti o slittamenti repentini nella sua forma e nel suo comporta-

11. Cfr. Lanzara (1983), p. 9 ss.

12. Cfr. Petitot (1977) in Lévi-Strauss (1977).

mento. Sono allora le stesse regole di controllo che vengono chiamate in causa in tali condizioni: esse non sono più sufficienti a tenere compatta la configurazione del sistema, o a governare il suo comportamento, e devono essere modificate o sostituite.

I modelli morfogenetici aiutano quindi a istituire delle connessioni puramente qualitative tra i fenomeni locali di *stress* in una configurazione (crisi, disfunzioni, asincronie, tensioni, sovraccarichi, fluttuazioni) e la genesi di nuove configurazioni, di nuove forme organizzate del sistema: i fenomeni di *stress* vengono concettualizzati non come anomalie da riassorbire ma come eventi generativi con capacità formante. Pur presentandosi come instabilità o irregolarità locali nel comportamento essi contengono nuove possibilità evolutive, germi potenziali di organizzazione.

Qual è dunque la rappresentazione del mutamento sistemico che da un punto di vista formale i modelli morfogenetici danno? Essi descrivono il mutamento come una successione discontinua di spazi di stato (o, equivalentemente, di fasci di traiettorie, o di costellazioni di morfologie), a ciascuno dei quali è associato uno spettro di configurazioni possibili del sistema.

Mi sembra opportuno esprimere questa idea di mutamento con le parole stesse di Thom:

... quando modelliamo tali processi, non dobbiamo guardare, – come nel caso dei sistemi dinamici ordinari – a un flusso che varia in uno spazio di fase fisso, ma invece dobbiamo guardare ad una dinamica fissa definita su una successione di spazi di fase (spazi di stato): a volte un nuovo grado di libertà viene attivato, a volte esso viene cancellato e distrutto¹³.

Possiamo ora saggiare la potenza dei modelli morfogenetici applicando la strumentazione teorica presentata al problema lasciato irrisolto dai modelli dinamico-cibernetici. Siamo interessati a esplorare la forma delle discontinuità e le trasformazioni strutturali che possono aver luogo nell'interazione tra struttura interna del sistema scolastico e mercato del lavoro.

Un eccesso di offerta scolastica (OFEC » O) ai vari livelli della struttura interna può essere ridotta a valori accettabili o ad una « norma » non con l'*enforcement* di un controllo rigido sulla morfologia esistente della struttura, ma semplicemente *trasformando* la struttura in modo che preveda al proprio interno nuovi livelli di istruzione. Anche un'eccedenza di nonoccupati (NOCC » O) può

13. Cfr. Thom (1977), p. 193.

essere « ridotta » introducendo corsi di formazione e di specializzazione, trasformando cioè la *qualità* di questa variabile, e cambiandole nome.

I nonoccupati potranno allora essere chiamati « borsisti », o « dottorandi », o « specializzandi », o « tirocinanti », o anche « ricercatori ». La creazione di nuovi prolungamenti e differenziazioni della struttura interna è una manovra classica nelle politiche scolastiche. Altra manovra comune, anche se più problematica, è l'apertura/chiusura della struttura, in modo da accrescere o ridurre le possibilità di scelta dei curricula e incanalare i flussi entro percorsi obbligati¹⁴.

Si noti che le quantità coinvolte in queste trasformazioni sono *solo apparentemente* toccate dall'azione sul vettore di controllo: quantitativamente nulla cambia. Ma elementi di una morfologia vengono reinterpretati, rilocalizzati, e ridenominati in un diverso assetto organizzativo, in una nuova forma. Le quantità non vengono ridotte numericamente, ma solo trasformate sintatticamente. Insomma, invece di agire sui valori numerici dei parametri per regolare i flussi, si cambiano i parametri per modificare o ridisegnare la struttura. La struttura che si forma è una nuova entità di comportamento (*behavioural entity*) con le sue proprie prestazioni.

Se indichiamo con $M(u,y)$ una qualsivoglia morfologia della struttura interna del sistema scolastico, dove u è il vettore dei parametri di controllo e y il vettore delle variabili di stato, possiamo enunciare la proposizione condizionale seguente:

Se, nel periodo di tempo (t_0, t_1) il sistema ha esibito una morfologia M^1_0 , allora *ci si deve attendere* che in un successivo periodo (t_1, t_2) esibirà una morfologia M^2_1 ¹⁵.

La relazione $M^1_0 \rightarrow M^2_1$ non è una predizione deterministica, come le predizioni che possono essere derivate dalle leggi fisiche. Essa è definita piuttosto sulla base di un'ipotesi sulla natura del processo di mutamento. Se appare una morfologia diversa da quella attesa, ciò significa che l'ipotesi fatta era troppo semplice, e si deve introdurre qualche nuovo fattore di complessità nel comportamento del sistema per dare un'immagine più soddisfacente del processo.

I modelli morfogenetici dunque non obbligano a nessuna ipotesi fissa sulla derivabilità graduale di una struttura a partire da un'altra struttura, o sulla raggiungibilità nel continuo di una configura-

14 Di tali « manovre » del sistema scolastico, e dei loro effetti perversi, tratta estesamente ed acutamente Boudon (1981), capp. 2 e 3, pp. 58-125.

15. Thom (1977), p. 196.

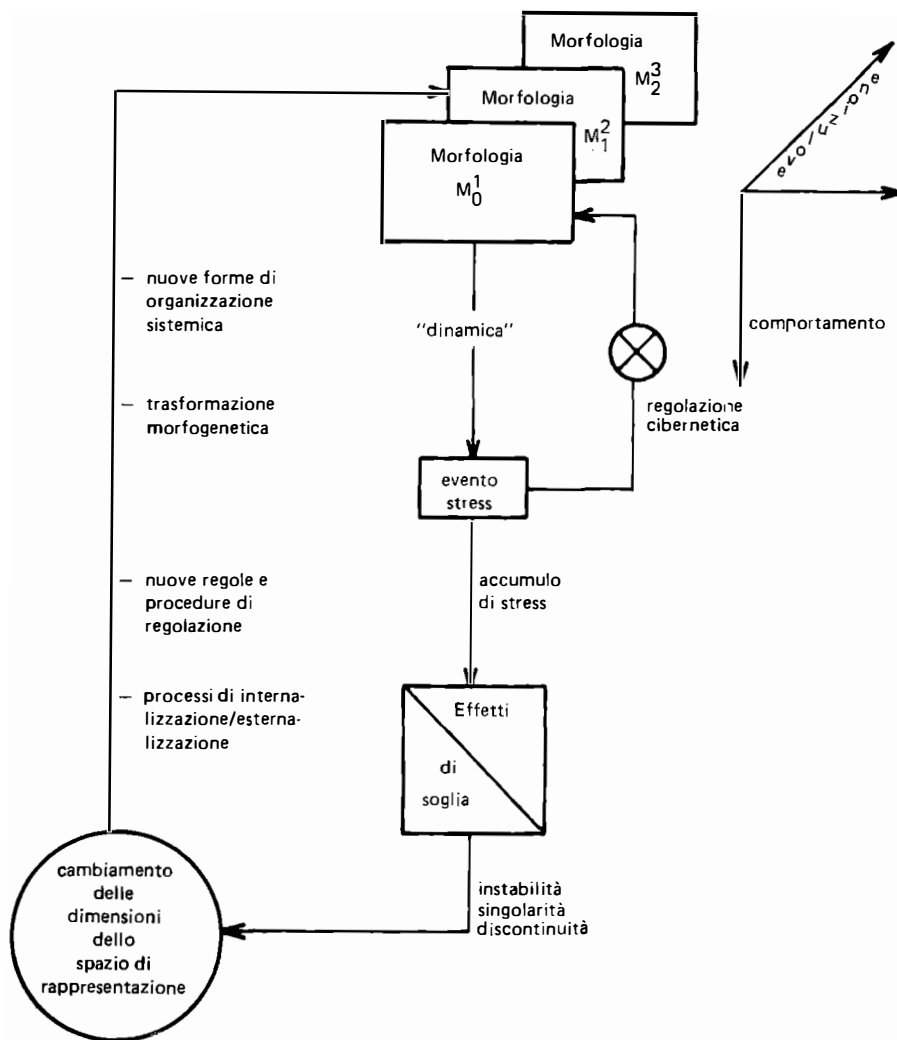


Fig. 2 - Dinamiche cibernetiche e trasformazioni morfogenetiche

zione a partire da una precedente. Essi danno solo una rappresentazione delle possibili forme della discontinuità che caratterizzano una trasformazione e che separano (e allo stesso tempo congiungono) due morfologie. Le trasformazioni non sono determinismi globali, anche se possono essere innescate da determinismi locali che hanno capacità di propagarsi e di amplificarsi.

Il mutamento dei sistemi complessi, in particolare di quelli che si prestano ad una descrizione « linguistica » come i sistemi sociali ¹⁶, sembra essere meglio descritto assumendo un approccio topologico-sintattico ai processi dinamici piuttosto che il classico approccio fisico-cibernetico. Le due modalità di descrizione colgono aspetti diversi del mutamento, anche se poi non è facile distinguere empiricamente traiettorie dinamiche e ricombinazioni di forme ¹⁷.

Quali sono i limiti dei modelli morfogenetici? Come si è detto in apertura di questo paragrafo, essi sono metaforicamente suggestivi, ma poco potenti per applicazioni di simulazione. Essi aiutano a cogliere gli aspetti di *forma* rispetto a quelli di *moto*, descrivono relazioni qualitative piuttosto che variazioni quantitative, processi discontinui piuttosto che dinamiche nel continuo. I modelli morfogenetici descrivono una sorta di fenomenologia della discontinuità, i salti improvvisi nel comportamento di un sistema al variare del controllo. Ma una « saltologia », pur orientando la nostra sensibilità e la nostra attenzione ai fenomeni di instabilità e di discontinuità, non ci aiuta molto a descrivere sistematicamente le relazioni che passano tra diverse forme possibili di un sistema sociale. Una « saltologia » non è una teoria della trasformazione. Le modalità di riproduzione e di generazione dei sistemi sociali sono assai più varie e complesse di quanto possa suggerire un numero limitato di archetipi di discontinuità tra diverse posizioni di stabilità strutturale ¹⁸.

16. Svilupperemo più avanti. Diciamo per ora che in una descrizione di tipo linguistico gli oggetti complessi che vengono descritti non sono indipendenti dallo spazio di rappresentazione: le loro proprietà dipendono dalle caratteristiche topologiche dello spazio e variano al variare di questo.

17. Cfr. Pattee (1976)

18. La fenomenologia della discontinuità è stata studiata in matematica solo per una classe molto ristretta di funzioni, dette funzioni potenziali, per le quali è possibile trovare posizioni stabili a cui sono associati valori minimi del potenziale. Se ciò ha significato analitico per i sistemi fisici (e neppure per tutti), per i sistemi sociali una tale descrizione risulta eccessivamente riduttiva: per questi ultimi infatti sarebbe prima necessario dimostrare o assumere che tutte le relazioni caratteristiche tra elementi sono di tipo funzionale (cosa quanto mai azzardata) e, inoltre, che tali relazioni funzionali sono di tipo potenziale (cosa addirittura inverosimile). Cfr. Zeeman (1977).

4. Sistemi sociali come insiemi di possibilità di relazione

Da un punto di vista formale un sistema sociale può essere concettualizzato come un insieme o una struttura di possibilità di relazione, sottoposto a un insieme di vincoli e di condizionamenti i quali, limitando tali possibilità di relazione, permettono al sistema di avere una prestazione, qualsiasi essa sia, nonché una configurazione riconoscibile, se vogliamo, un'identità.

Il problema della modellizzazione potrebbe allora essere così formulato: esso consiste nell'esplorare e saggiare tutte le possibili morfologie, tutti i possibili insiemi di stati di stabilità che un sistema può assumere per diversi insiemi di parametri di controllo che vincolano o governano tale sistema. Le domande che l'analista si pone sono le seguenti: cambiando il vettore dei parametri di controllo, quali sono i possibili stati di equilibrio su cui il sistema può ancora funzionare? quali sono le diverse « forme » di un sistema al variare delle modalità di controllo?

L'attenzione teorica non viene qui dedicata alla ricerca e alla rappresentazione di uno stato stabile privilegiato o definitivo, ma piuttosto ai « passaggi » e alle relazioni tra diversi stati stabili possibili. Si noti tuttavia che una tale formulazione associa ancora le forme e le prestazioni di un sistema a stati di stabilità, locali o globali che siano: un sistema sarebbe riconoscibile come tale e potrebbe « funzionare » quando alcune relazioni possibili vengono stabilizzate in una struttura.

Ma perché mai la presenza di una configurazione sistemica dovrebbe necessariamente essere associata ad una condizione di stabilità? Potrebbe essere sufficiente solo un requisito di *regolarità topologica* o di *coerenza di forma*, senza che ciò implichi la stabilizzazione di strutture o l'erogazione di particolari prestazioni. Da un punto di vista puramente formale, che non ne esclude altri, un sistema sociale potrebbe allora essere rappresentato come una costellazione di configurazioni possibili vincolate da insiemi di parametri di controllo, che chiamiamo, nel linguaggio della topologia algebrica, « figure di regolazione »¹⁹. A tali configurazioni su uno spazio di rappresentazione gli osservatori associano poi caratteristiche di stabilità, di permanenza, di identità, di comportamento: la stabilità di una struttura è dunque un effetto della osservazione, dipende dallo spazio di rappresentazione che gli analisti costruiscono.

19. Cfr Thom (1974), p. 8 e ss. La « figure de régulation », che Thom chiama anche *logos*, è un'entità topologica astratta, consistente in un vettore di parametri che presiedono al controllo della forma.

Dato un sistema con una certa « figura di regolazione », ci sono configurazioni possibili e configurazioni non ammesse con quella specifica figura di regolazione: ci sono in altre parole relazioni e stati che coincidono con una possibile modalità di comportamento del sistema, e con una configurazione riconoscibile, e invece altre relazioni e stati che sono inaccessibili o intrinsecamente instabili, o a cui non è possibile associare nessun comportamento plausibile.

L'indagine che l'analista conduce non è volta a definire stati o requisiti di stabilità di un sistema sociale, né è circoscritta nell'ambito di una configurazione stabile particolare, ma concerne le *condizioni di possibilità* di un sistema sociale al variare delle restrizioni di natura sociale su uno spettro di possibilità di comportamento. Nella prospettiva di una indagine sulla generatività è interessante far luce sulla connessione tra le configurazioni possibili e le modalità di controllo (regolazione, restrizione) di un sistema sociale, connessione sulla quale, per una gran parte di sistemi sociali, grande ancora è la nostra ignoranza: non riusciamo infatti a imputare facilmente successioni di insiemi di stati o anche eventi singolari a specifici cambiamenti nei parametri di controllo, in special modo quando questi cambiamenti hanno luogo con processi endogeni che a loro volta sfuggono al controllo. Non riusciamo in sostanza a capire bene *quali* configurazioni sono generate da *quali* restrizioni, e quali sarebbero le trasformazioni da attendersi se particolari restrizioni venissero introdotte o rilasciate (mondi controfattuali).

Siamo però in grado di dire che la generatività di un sistema sociale dipende *meno* dalla varietà degli stati o configurazioni che esso può potenzialmente assumere e *più* dalla natura dei vincoli a cui è sottoposto. Perciò tutti gli interventi orientati a produrre trasformazioni innovative non devono tanto accanirsi a controllare stati particolari o a ricercare condizioni iniziali del sistema nell'ambito di un certo modello di comportamento, quanto piuttosto a influenzare e a cambiare le modalità e le regole del controllo: essi devono agire cioè direttamente sui vincoli ²⁰.

20. Queste osservazioni possono forse essere utili per una riconcettualizzazione dell'idea di governabilità e del tema della *deregulation*. Il problema della governabilità potrebbe non essere un problema di regolazione, o comunque di rinforzo ed estensione dei controlli, quanto un problema di cambiamento del *tipo* o modello del controllo che presiede a certi comportamenti, dunque di progettazione sociale. Da questo punto di vista l'odierna tendenza alle politiche di *deregulation* non costituisce una sorpresa: la *deregulation* è rilascio di vincoli (*constraint relaxation*), e un sistema deregolato, proprio perché si rinuncia a certi livelli di governabilità, può essere meno ingovernabile di un sistema caricato di controlli eccessivi e malriusciti.

Per chi si ponga problemi di governo o di innovazione dei sistemi sociali – conservatore, riformista o rivoluzionario che sia – il problema-chiave può essere così formulato: qual è l'insieme di parametri di controllo che « produce » il comportamento o il sistema che si desidera?

Ad esempio, in politica giudiziaria ci troviamo di fronte a due recise possibilità: chi viene riconosciuto colpevole di un crimine *o* viene posto in condizioni di detenzione *o* viene comunque lasciato libero (vale a dire: restrizione o meno di comportamenti possibili)²¹. Questo vincolo determina in modo alquanto stretto la morfologia e le possibilità di comportamento e di trasformazione di un qualsiasi sistema giudiziario. La scelta dell'una o dell'altra alternativa determina se una società possiede o meno l'istituzione del carcere: la eventuale transizione da una società che utilizza l'istituzione del carcere ad una società che non lo utilizza non è una dinamica, ma una trasformazione delle regole stesse di organizzazione di quella società, anzi addirittura un vero e proprio salto tra due modelli di società tra loro incomparabili.

Possiamo trovare un altro esempio efficace nell'ambito della comunicazione intersoggettiva. In un sistema di comunicazione esiste un insieme di opzioni comunicative governate da un *codice*. Quest'ultimo costituisce il condizionamento, la figura di regolazione delle possibili comunicazioni o comportamenti che possono essere attivati in una situazione. Le regole del codice stabiliscono ciò ch'è possibile/non possibile dire o fare senza correre il rischio di interrompere o distorcere la comunicazione stessa. Esse stabiliscono, anche se non in modo del tutto vincolante, ciò ch'è corretto/scorretto, significativo o senza senso, pragmaticamente ammissibile o accettabile, o meno. La figura di regolazione è quindi in questo caso un insieme di restrizioni di natura linguistica o sociale su un insieme di possibilità d'espressione o d'azione. L'uscita da tale « figura » può provocare il blocco della comunicazione, la difficoltà quando non l'impossibilità di riprodurla; oppure il salto generativo ad altre forme di comunicazione. Per un attore impegnato in una situazione di interazione comunicativa la trasformazione delle regole della comunicazione non è affatto un problema banale: egli deve in sostanza inventare un nuovo sistema di condizionamenti che permetta e organizza nuove forme di comunicazione. Quanto ciò sia difficile lo espe-

21. La dicotomia è qui strumentale alla discussione: ci possono ovviamente essere casi intermedi tra i due estremi, con restrizioni parziali (domicilio coatto, libertà vigilata, esilio, ecc.), che potrebbe essere interessante discutere

riamo sovente nella nostra vita quotidiana. Spesso infatti non riusciamo a intravedere quali potrebbero essere le configurazioni del sistema di interazione al variare del codice che governa l'interazione tra i partner e ne struttura addirittura le identità.

Uno dei modi per esprimere il problema della generatività è allora il seguente: come è possibile intervenire sui codici che governano i comportamenti, e trasformarli? come è possibile farlo riproducendo tuttavia l'interazione stessa? Mi preme far notare, ancora una volta, che non si tratta qui di interpretare il mutamento in termini di variazioni dinamico-cibernetiche di stati di un sistema, bensì in termini di trasformazioni generative di coppie stati-parametri (ovvero: morfologie-condizionamenti) in altre coppie analoghe, che possono anche non avere alcuna affinità con le precedenti. Il salto o lo slittamento da un codice all'altro segna il passaggio da un mondo possibile ad un altro mondo possibile. Il « nuovo » si presenta inizialmente non come variazione o transizione di stati sistemici, ma come possibilità controfattuale, nel senso che, se non fosse stato per l'intervento di un agente (portatore dell'azione), esso non avrebbe potuto aver luogo²². Tocchiamo qui il cuore del problema della generatività dei sistemi sociali, che potrebbe essere interessante affrontare a partire dallo studio di insiemi di regole generatrici di possibilità evolutive vincolate.

5. Modelli linguistici: verso una « grammatica del possibile »?

Proprio in tale prospettiva alcuni studiosi hanno cominciato a chiedersi se esistano regole di trasformazione che guidano il mutamento evolutivo dei sistemi sociali, e quale sia la natura di tali regole²³. Una delle ipotesi esplorate è che ci sia un livello dell'evoluzione dei sistemi sociali che può essere rappresentato solo con strutture e regole sintattiche affini a quelle che caratterizzano le forme e gli usi del linguaggio e della comunicazione. Una prospettiva di ricerca che sembra promettente deriva appunto i suoi modelli, le sue metafore e i suoi strumenti di analisi dalla linguistica²⁴.

22. Georg Von Wright (1968) distingue tra mutamento descritto in termini di cambiamento di stati sistemici e mutamento descritto in termini di attualizzazione di mondi possibili controfattuali, generati per l'intervento di un agente.

23. Tra i quali ricordo Pattee (1977) e (1976); Alker (1978)

24. Molto influente nella formazione di tale prospettiva è l'apporto paradigmatico delle ricerche di Noam Chomsky sulla grammatica trasformazionale. Cfr. Chomsky (1957) (1975).

L'argomentazione che sta alla base di questa proposta teorica è la seguente: se caratteristica dell'uso umano del linguaggio e della comunicazione è la capacità di applicare regole di trasformazione e di codificazione a strutture, procedure, valori, vocabolari complessi, perché le stesse regole o regole analoghe non dovrebbero caratterizzare anche l'azione sociale collettiva e in ultima analisi anche la formazione dei sistemi sociali? Perché, in altri termini, i sistemi sociali e politici dovrebbero essere di un livello di complessità inferiore o di natura diversa rispetto ai sistemi linguistici e ai sistemi di comunicazione ²⁵?

Possono, in altre parole, i sistemi sociali essere identificati e reinterpretati (ricostruiti) sulla base dei loro modi di produzione o principi di organizzazione?

Per rappresentare le qualità generative, riproduttive, trasformative dei sistemi sociali complessi sono necessari modelli di ordine superiore che permettano di trattare strutture, codici, programmi e procedure come *dati*, e che siano capaci di trattare tali *dati* con programmi che siano in grado di rispecificare i programmi operativi, i codici, le procedure che governano i *patterns* di comportamento dei sistemi sociali. In termini cognitivi si tratta in sostanza di dotare tali modelli della capacità di interpretare e di riflettere su una base strutturata di conoscenza, e quindi di una conoscenza sulla conoscenza (*knowledge about knowledge*).

Nella teoria classica dei sistemi un sistema viene correntemente descritto in linguaggio dichiarativo-classificatorio, come insieme o lista di componenti a vari livelli gerarchici. Ma negli orientamenti più recenti, soprattutto per il contributo degli studi sull'Intelligenza Artificiale, un sistema può essere descritto mediante il programma che lo genera, vale a dire in termini procedurali ²⁶. Un sistema è allora il risultato dell'applicazione di un insieme di istruzioni e di procedure: esso è dato come una realizzazione (*instantiation*) di un programma che può generare ricorsivamente una varietà finita o infinita di strutture possibili. L'identificazione di un sistema può avvenire quindi attraverso l'insieme di regole necessarie per produrlo: un programma generalizzato *più* un insieme di specifiche *context-dependent* che riempiono gli *slots* (spazi, posizioni, opzioni) lasciati eventualmente aperti dal programma.

25. Cfr. Miller e Chomsky (1963), p. 488: « An organism that is intricate and highly structured enough to perform the operations that we have seen to be involved in linguistic communication does not suddenly lose its intricacy and structure when it turns to nonlinguistic activities ».

26. Cfr. Alker (1978); Crecine (1969) e anche Waddington (1977).

Secondo un tale approccio, se trasferito all'ambito dei sistemi sociali, le strutture di un sistema sociale sarebbero generabili e modificabili da regole di produzione e di trasformazione che costituirebbero una sorta di 'grammatica del possibile': le regole stabiliscono in sostanza le condizioni possibili di coerenza formale interna (sintassi), di significatività (semantica), di ammissibilità o legittimità (pragmatica, etica) di un assetto sociale o organizzativo, così come le regole di un linguaggio definiscono la *well-formedness* di una frase. Le regole sono generatori non-deterministici di possibilità evolutive vincolate, e permettono un'indagine sugli effetti relativi di diversi insiemi di restrizioni sulle configurazioni e sui comportamenti possibili di un sistema sociale. Le regole non predeterminano *quale* specifica trasformazione avrà luogo, né *quale* assetto organizzativo empirico prenderà forma, né se ci sarà alla fine un punto di arrivo stabile riconoscibile della trasformazione. Le regole offrono o escludono possibilità di azione, ma non pregiudicano o predeterminano la scelta dell'azione.

Una 'grammatica del possibile' è dunque un dispositivo costituito da un insieme di dati e di regole per combinare tali dati, che permette la derivazione di forme e strutture possibili a partire da unità elementari: essa è una descrizione di possibilità formali, non di realizzazioni concrete ²⁷.

Una delle più classiche domande nelle scienze sociali: « come è possibile che un certo *pattern* di sviluppo possa aver luogo »? può essere ora affrontata con uno strumentario analitico enormemente più ricco e diversificato dei modelli dinamici della cibernetica del 1° ordine. In modo più preciso, la domanda è scomponibile in più interrogativi relativi all'acquisizione di conoscenza fattuale, controfattuale, e congetturale:

1. quali sono stati *nel passato*, e quali sono *nel presente*, i comportamenti e le configurazioni di un dato sistema sociale vincolato da certe restrizioni o governato con certe politiche? (conoscenza fattuale: storica-ricostruttiva e attuale-empirica);
2. quali sarebbero stati *nel passato*, e quali sarebbero *nel presente*, i comportamenti e le configurazioni di un sistema sociale, se il sistema fosse stato (o fosse) sottoposto a restrizioni e a politiche diverse? (conoscenza controfattuale storica e attuale);
3. quali potrebbero essere *nel futuro* i comportamenti e le configu-

27. I « dati » costituiscono l'insieme delle unità minime dei vari livelli di analisi. Qui sorge il problema fondamentale, e per ora irrisolto, delle unità o strutture primitive alle quali si applicano le regole: rinviamo alle *Conclusioni* del saggio una discussione sia pur sommaria del problema.

razioni del sistema al variare dei possibili condizionamenti? (conoscenza congetturale e previsionale).

Se ritorniamo ora al nostro studio sul sistema scolastico, le considerazioni precedenti ci orientano verso modelli capaci di descrivere una varietà di strutture possibili del sistema, del tipo di quella rappresentata in fig. 1. L'interrogativo da porsi è dunque se sia possibile descrivere il sistema scolastico e le sue trasformazioni con modelli di tipo linguistico, contenenti regole che producano e derivino tutte le possibili strutture di un sistema scolastico.

La struttura interna di un sistema scolastico è un insieme di componenti e subcomponenti consistenti in livelli e tipi di istruzione (specializzazioni funzionali) (vedi fig. 3). Ma in termini procedurali essa è descrivibile come l'insieme di sequenze di istruzioni necessarie a generarla. Ciascuna sequenza di istruzioni è un curriculum scolastico specifico con opzioni che possono eventualmente essere anche lasciate aperte. La struttura di un sistema scolastico è dunque descrivibile come una composizione o combinazione di curricula scolastici possibili (percorsi). Componendo tutte le scelte possibili, si ottiene una configurazione ad albero in cui certi percorsi sono leciti, altri invece sono preclusi.

Un particolare curriculum scolastico è allora un'azione complessa che può essere riscritta come una sequenza di azioni componenti (o è un'entità complessa riscrivibile in termini di elementi componenti):

$$C \implies (L_1, L_2, L_3, L_4)$$

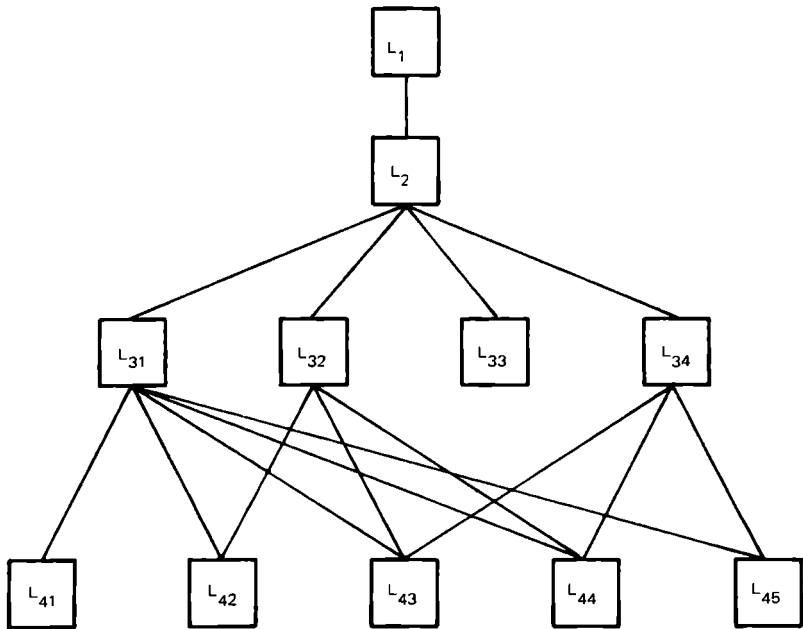
(dove il segno significa: « riscritto come ») dove C può essere riscritto come una sequenza di livelli (per esempio: L_1 scuola elementare, L_2 scuola media inferiore, L_3 scuola media superiore, L_4 istruzione universitaria).

A loro volta i livelli o gradi di istruzione possono essere riscritti tenendo conto degli anni dell'istruzione e della specializzazione o tipo di studi. Se trascuriamo i gradi della istruzione elementare e della scuola media unificata, che non prevedono specializzazione dell'istruzione, il grado dell'istruzione media superiore prevede uno spettro di possibili specializzazioni:

$$L_3 \implies (L_{31}, L_{32}, L_{33}, L_{34}), \text{ e così pure } L_4:$$

$$L_4 \implies (L_{41}, L_{42}, L_{43}, L_{44}, L_{45}, \dots)$$

le quali, a loro volta, possono comportare ulteriori sub-specializzazioni, e così via.



$S \Rightarrow (L_1, L_2 (L_{31}, L_{32}, L_{33}, L_{34}) (L_{41}, L_{42}, L_{43}, L_{44}, L_{45}))$

Fig. 3 - Struttura interna del sistema scolastico organizzata per gradi e tipi funzionali di istruzione (blocchi didattici e curricula possibili)

Un curriculum qualsiasi può allora essere scritto nella forma:

$$C_1 = L_1 + L_2 + L_{32} + L_{41}$$

la quale è una prima specificazione di un curriculum scolastico, che può ovviamente essere ulteriormente specificata. Ogni curriculum può dunque essere rappresentato come una dettagliata « narrativa ».

I curricula scolastici possono essere variamente ricomposti, ristrutturati e ricombinati. Consideriamo ad esempio la semplice ma caratteristica struttura interna in fig. 3: essa rende possibili dodici curricula differenziati di cui uno ($L_1 + L_2 + L_{33}$) non permette di accedere al grado più elevato di istruzione L_4 . Inoltre da L_{32} e da L_{34} si possono raggiungere solo alcuni tipi di istruzione al livello superiore; L_{31} dà invece accesso generalizzato a L_4 . Aggiungendo e togliendo connessioni si possono offrire nuove opzioni e introdurre nuove restrizioni sui percorsi possibili, fino a trasformare in parte o del tutto la natura stessa della struttura interna. Quest'ultima ha funzione selettiva e può essere variamente modificata. I programmi che modificano la struttura interna, che ne permettono la 'manovra', devono essere capaci di trattare le diverse configurazioni come dati qualitativi o come strutture complesse di dati qualitativi. La struttura che i modelli di Dinamica dei Sistemi assumono come invariante (fig. 1) è allora solo un *item* in una costellazione di strutture possibili, ciascuna delle quali offre certe opzioni e ne esclude altre. Essa diventa così un *dato* di un programma di ordine superiore che la tratta come oggetto delle proprie operazioni.

Queste per esempio potrebbero essere le regole di generazione di tutte le possibili opzioni di curriculum, cioè della struttura interna del sistema scolastico.

Generazione del curriculum scolastico: regole

R1 Curriculum (C) si riscrive come (scuola dell'obbligo + istruzione superiore)

$$C \Rightarrow (SO, IS)$$

R2 Scuola dell'obbligo si riscrive come (scuola elementare + scuola media inferiore)

$$SO \Rightarrow (SE, SMI)$$

R3 Istruzione superiore si riscrive come (scuola media superiore + istruzione universitaria)

$$IS \Rightarrow (SMS, IU)$$

R4 Scuola elementare si riscrive come (sequenza^a di 5 sottolivelli annuali)

$$SE \Rightarrow (SE1, SE2, SE3, SE4, SE5)$$

R5 Scuola media inferiore si riscrive come (sequenza di tre sottolivelli annuali)

$$SMI \Rightarrow (SMI1, SMI2, SMI3)$$

R6 Scuola media superiore si riscrive come (liceo classico, liceo scientifico, liceo artistico, istituto tecnico, istituto professionale, ...)

$$SMS \Rightarrow (LC, LS, LA, ITEC, IPRO, \dots)$$

R7 Istruzione universitaria si riscrive come (FAC1, FAC2, FAC3, ...FACm)

$$IU \Rightarrow (FAC1, FAC2, FAC3, \dots, FACm)$$

R8 Facoltà universitaria si riscrive come (corsi di laurea)

$$FAC1 \Rightarrow (LAU1, LAU2, \dots LAUk)$$

... e così via: a partire da questo insieme di regole di trasformazione possono essere generate tutte le possibili opzioni di curriculum, cioè la struttura del sistema scolastico.

Se ad esempio l'espansione dell'istruzione o i requisiti di efficienza del sistema economico richiedono una più elevata differenziazione funzionale del sistema scolastico, questa è il risultato dell'applicazione di una regola di trasformazione (*expansion rule*), che consiste nel *riscrivere* un elemento (blocchi didattici) della struttura interna in due o più elementi componenti. Se si vogliono attivare o disattivare nuovi percorsi didattici o nuovi collegamenti nella struttura interna, manovrando con politiche di *apertura* e *chiusura*, ciò si ottiene applicando regole di addizione (*add*) e di cancellazione (*delete*) di nodi e connessioni, o regole di trasposizione (*transpositional rule*), che trasferiscono un nodo o un collegamento situati in un albero di derivazione in un'altra posizione nello stesso albero.

Se un livello didattico viene differenziato funzionalmente o temporalmente, generando così una nuova articolazione funzionale o un nuovo prolungamento (un 'pezzo' di struttura), il modello deve essere in grado di riscriverlo nel modo seguente:

$L_{41} \Rightarrow (L_{411}, L_{412}, L_{413}, \dots)$ specializzazione funzionale del tipo L_{41}

$L_5 \Rightarrow (L_{51}, L_{52}, L_{53}, L_{54})$ prolungamento, aggiunta di un grado di istruzione

Il modello dovrebbe ad esempio poter riscrivere le variabili OFEC e NOCC (fig. 1) come nuovi livelli o stati di una diversa struttura. Gli stessi programmi *Open*, *Select*, *Progo*, contenenti strategie d'a-

zione che modificano la struttura interna del sistema scolastico o il mercato del lavoro, diventano dati complessi manipolati da programmi di ordine superiore che modificano i presupposti e i modelli di comportamento che informano quelle strategie.

Un modello di tipo linguistico permette allora di esplorare i comportamenti di più strutture del sistema scolastico e di derivare una struttura dall'altra agendo su insiemi di vincoli-possibilità attraverso un sistema di derivazioni linguistiche (schemi di produzioni governate da regole).

I fenomeni e gli eventi che nell'ottica della regolazione vengono « indicati » (ma non rappresentati) come instabilità o fluttuazioni che stanno fuori del dominio di descrizione dei comportamenti stabili o « normali » di un sistema, e che nella prospettiva morfogenetica vengono rappresentati come discontinuità o « salti » attraverso cui passano le trasformazioni che preludono a nuove forme di organizzazione sistemica, nei modelli linguistici vengono trattati come istanze di trasformazioni sintattiche generate da regole. Comportamenti innovativi, dovuti a punti di rottura nei coefficienti che « normano » l'andamento regolare di un fenomeno (*breakpoints*), a slittamenti parametrici (*parameters' shifts*), e alla variabilità dei vincoli, possono essere descritti (se non spiegati) come effetti di o come espressioni associate a nuovi assetti strutturali caratterizzati da un *mix* modificato di vincoli e possibilità. L'intera fenomenologia dei processi di mutamento non descrivibili come flussi (genesì, estinzione, evoluzione, degenerazione, destrutturazione, corruzione ecc.) viene così sottratta ad una descrizione puramente discorsiva e sottoposta a trattamento formale.

6. Conclusione: alcuni problemi di rappresentazione nei modelli linguistici

La possibilità di concepire un sistema sociale come risultato dell'applicazione di regole di produzione e di ricostruirlo sulla base di una « grammatica » si scontra tuttavia con problemi che non possono essere taciuti o minimizzati: questi nascono principalmente intorno alla questione più generale della descrivibilità formale (computabilità) dei sistemi sociali ²⁸.

28. La computabilità consiste nella possibilità di istituire relazioni d'ordine che possono essere meccanicamente calcolate da una macchina. Per poter costruire una descrizione computabile di un sistema complesso - biologico o sociale - è necessario « tradurlo » in algoritmi programmabili ed eseguibili da una macchina (von Foerster, 1982).

Secondo l'impostazione della linguistica computazionale un sistema sociale può essere riguardato come la realizzazione di un programma eseguibile da una macchina, consistente in uno schema di produzioni. Il programma incorpora una teoria delle relazioni sociali in forma di istruzioni computabili.

La prospettiva linguistica è dunque fortemente orientata ad un elevato grado di formalizzazione nella rappresentazione di un sistema sociale. Essa – è vero – sposta utilmente l'attenzione dagli schemi di classificazione e di regolazione ai meccanismi di generazione di un insieme di possibilità, ma questi ultimi permettono solo un'indagine sulle condizioni e sulle strutture formali di un sistema sociale, non sulle sue determinazioni concrete. L'interrogativo a cui si tenta di dare risposta, e che potrebbe essere l'oggetto di una nuova sofisticata algebra sociale a base linguistica, è: « quali tipi di società (o di organizzazione) sono socialmente possibili? »²⁹.

Ci troviamo qui di fronte alla questione se sia possibile ricostruire la complessità di un sistema sociale a partire dalla conoscenza di regole esplicite e da strutture o unità elementari di base, a cui quelle vengono applicate ricorsivamente. Una forma complessa può essere la risultante dell'applicazione ricorsiva di una regola semplice, fino a generare un intricato tessuto (*texture*) di relazioni non più scomponibile in parti componenti³⁰. Così l'« effetto di complessità » scaturirebbe non tanto dalla « spaventosa » proliferazione di possibilità simultaneamente compresenti, quanto dal fatto ch'è difficile prevedere gli effetti emergenti, in termini di configurazioni e di comportamenti, dell'applicazione di regole di trasformazione, anche quando queste sono semplici e solo localmente valide.

Infatti, come non è indispensabile possedere una conoscenza esplicita della grammatica per un uso efficace del linguaggio, così possiamo trovarci esposti alla complessità sociale senza essere in grado di ricostruirla sulla base di regole formali esplicite. Oppure possiamo conoscere esplicitamente le regole senza però essere in grado di

29. In questo senso l'indagine sui sistemi sociali come complessi linguistici governati da regole rinforza una tendenza alla matematizzazione dei fenomeni sociali che è tipica anche dello strutturalismo, e che trova le sue origini nel pensiero illuministico francese.

30. Non esistono cioè relazioni o parti indipendenti o quasi-indipendenti da altre relazioni o parti. In metafora: se si comincia a tirare il capo di un filo, l'intero tessuto si disfarrà. Ciò smentisce, almeno per certi sistemi sociali, l'ipotesi di Simon sulla quasi-scomponibilità dei sistemi complessi (Simon, 1969). Solo alcuni sistemi sono scomponibili in livelli gerarchici e in componenti tra i quali vigono relazioni deboli. Ma il linguaggio, per esempio, non è gerarchico o scomponibile nel senso di Simon.

riconoscere o di realizzare configurazioni empiriche specifiche. Le relazioni conoscitive e pratiche che intratteniamo con i sistemi sociali non sono dunque necessariamente mediate da regole, ma sono realizzate direttamente sulla base di azioni, che fanno sì, in qualche modo, riferimento a regole, ma che non devono ogni volta « dichiararle ». Le regole sono a volte inosservabili, essendo avvolte nell'ambiguità e nella indeterminazione: può accadere anzi ch'esse siano tanto più efficaci e pervasive quanto più sono nascoste³¹. Insomma, la conoscenza o la disponibilità di regole non è automaticamente una garanzia di controllo o di prestazione concreta: come dire che la competenza non è condizione sufficiente all'esecuzione. Per esempio, non è possibile inferire automaticamente le regole dell'etichetta sulla base della osservazione dei comportamenti delle *élite* nella società di corte, o ricavare il codice soggiacente a partire dallo studio di comunicazioni manifeste. Viceversa, conoscere le regole dell'etichetta come una lista di istruzioni esplicite non implica necessariamente, se manca un'efficace internalizzazione, che ci si sappia comportare correttamente in una società di corte. Niente più dello studio delle organizzazioni rivela questa incompletezza descrittiva delle regole, e la « zona d'ombra » che cade tra il formalismo della regola e l'istanza concreta dell'azione.

Tra i problemi cruciali nella rappresentazione di un sistema sociale come « complesso linguistico » è poi quello della individuazione delle unità di analisi o strutture linguistiche, primitive, e quello della definizione dei livelli della eventuale struttura linguistica di un sistema sociale. Se nell'analisi del linguaggio c'è ormai un consenso stabile su quali siano le unità elementari e i livelli (morfemi, semi, parole, frasi, discorsi, ecc.), nel caso dei sistemi sociali è sempre motivo di dubbio e di controversia quali siano gli oggetti-simboli primitivi a cui vengono applicate le regole di produzione. La scelta sia di queste che di quelli sembra dipendere strettamente dai contesti di ricerca. La definizione di ciò che viene codificato come 'primitivo' (qualcosa di non ulteriormente riducibile che sta 'prima' di tutto il resto e da cui tutto il resto può essere derivato) e di ciò che viene riconosciuto e usato come 'regola' sembra essere una questione relativa alla posizione dell'analista e alla segmentazione ch'egli fa del flusso degli eventi. Praticamente ogni scuola disciplinare, ogni gruppo di ricercatori ha le sue famiglie di oggetti e regole da proporre o da criticare.

31. Polanyi (1964) ha mostrato il ruolo della conoscenza inespresa nella prestazione di abilità manuali o professionali. Ma l'importanza di regole tacite del comportamento è riconosciuta anche da tutta la tradizione fenomenologica.

Infine, come è possibile che l'estremamente varia fenomenologia dei sistemi sociali e del loro mutamento sia generata da insiemi finiti e relativamente limitati di regole? Una rappresentazione linguistica insiste su domini di descrizione circoscritti, individuati dalla scelta di coppie di insiemi regole-oggetti. Una determinata coppia regole-oggetti definisce solo alcuni eventi o combinazioni strutturali come *possibili*. Essa costruisce un campo di possibilità, ma non esaurisce *tutte* le possibilità. Anche ciò che chiamiamo « possibilità » deve trovare la sua rappresentazione come tale. Ma ci sono *sorprese* – supposte impossibilità – che forzano i limiti delle nostre rappresentazioni costringendoci a modificarle. Se presumessimo che le nostre descrizioni, per quanto potenti e onnicomprensive, coprissero tutte le possibilità evolutive future di un sistema sociale, ciò significherebbe negare di fatto la sua generatività. Una descrizione completa della generatività non sarebbe a sua volta generativa. Una descrizione della generatività deve essere dunque necessariamente incompleta. Questa asserzione equivale all'altra che per descrivere fenomeni evolutivi ci vogliono modelli evolutivi, e che è impossibile costruire una teoria formale del mutamento sociale come sistema teorico chiuso ³².

Si è visto che i modelli dinamico-cibernetici, che descrivono il mondo in termini di stati e flussi e l'azione umana in termini di regolazione, tendono per questo a consolidare e a riprodurre una concezione per così dire « idraulica » o « ecologica » del mutamento, e a rinforzare una visione regolatoria del comportamento umano. Allo stesso modo i modelli linguistici, che descrivono il mondo in termini di strutture sintattiche e di regole di trasformazione, e l'azione umana come espressione manifesta di una grammatica soggiacente, potrebbero forse creare l'illusione di una completa codificabilità dei fenomeni sociali, o produrre essi stessi una elevata codificazione delle configurazioni possibili e dei meccanismi generativi. Essi potrebbero in sostanza stabilizzare la credenza che nei sistemi sociali ci sia più ordine e « concatenazione » di quanto la loro variabilità e le loro disordinate sedimentazioni suggerirebbero, e che le trasformazioni evolutive, per quanto complesse e imprevedibili, solo apparentemente sono erratiche: il gioco imperscrutabile e un po' selvaggio del caso sarebbe esso stesso un effetto dell'operazione di codici locali, decentrati, contestualmente determinati – una versione debole, ma tuttavia rassicurante, del perduto *logos* soggiacente.

32. Come propone Novakowska (1978), (1979).

Riferimenti bibliografici

- H.R. Alker (1978), *From Political Cybernetics to Global Modeling*, paper presented at the Annual Meeting of the American Political Science Association, New York, mag
- T. Baumgartner, W. Buckley, T. Burns, P. Schuster (1976), *Meta-power and the structuring of social hierarchies*, in T. Burns, W. Buckley (eds.), *Power and Control: Social Structures and Their Transformation*, Sage Studies in International Sociology 6, Sage Publications, Beverly Hills, Ca.
- T. Burns, W. Buckley (eds.) (1976), *Power and Control: Social Structures and Their Transformation*, Sage Studies in International Sociology 6, Sage Publ., Beverly Hills, Ca.
- R. Boudon (1981), *Effetti perversi dell'azione sociale*, Feltrinelli, Milano, (ed. francese, *Effets pervers et ordre social*, Paris, 1977)
- W. Buckley (1976), *Sociologia e teoria dei sistemi*, Boringhieri, Torino, (ed. inglese, *Sociology and Modern System Theory*, 1967).
- W. Buckley (1979), « Introduction », *Behavioral Science*, vol. 24, pp. 1-4
- N. Chomsky (1957), *Syntactic Structures*, Mouton, L'Aia, Holland, (tr. it., Laterza, Bari, 1980).
- N. Chomsky (1975), *Reflections on Language*, Pantheon Books, New York.
- J.P. Crecine (1969), *Governmental Problem Solving*, Rand McNally, Chicago
- K. Deutsch (1963), *The Nerves of Government: Models of Political Communication and Control*, The Free Press, New York
- J.W. Forrester (1961), *Industrial Dynamics*, Mit Press, Cambridge, Mass
- J.W. Forrester (1968), *Principles of Systems*, Wright Allen Press, Cambridge.
- J.W. Forrester (1969), *Urban Dynamics*, Mit Press, Cambridge, Mass.
- J.W. Forrester (1971), *World Dynamics*, Wright Allen Press, Cambridge, Mass.
- J.W. Forrester (1973), *Il comportamento controintuitivo dei sistemi sociali*, in Aa.Vv. *Verso un equilibrio globale*, Est Mondadori, Milano
- R.F. Geyer, J. Van der Zouwen (eds.) (1978), *Sociocybernetics*, voll. 1 e 2, Martinus Nijhoff Social Science Division, Leiden.
- G.F. Lanzara (1983), *Regolazione, internalizzazione, generatività: aspetti di una teoria del mutamento sistemico*, comunicazione presentata al Convegno internazionale *Razionalità sociale e teoria dei sistemi*, Bologna, 20-22 ott.
- G.F. Lanzara (1984a), *Comportamento e evoluzione del sistema scolastico italiano. Un'analisi sistemica*, Milella, Lecce.
- G.F. Lanzara (1984b), *Un'esperienza di simulazione di un sistema sociale complesso: il modello e i suoi limiti*, presentato al Convegno Ais su *Informatica e società italiana*, Bari, dic
- C. Lévi-Strauss (a cura di) (1980), *L'identité*, Séminaire dirigé par C. Lévi-Strauss, Grasset, Paris (tr. it., Sellerio, Palermo, 1980)
- D. Luce e al. (eds.) (1963), *Hand book of Mathematical Psychology*, volumes I, II, III, Wiley & Sons, New York.
- D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers, W.W. Behrens (1972), *The Limits of Growth*, Earth Island Press, London (tr. it., Est Mondadori, Milano, 1973).
- J.G. Miller, N. Chomsky (1963), *Finitary Models of Language Users*, in Luce e al. (eds.), *op. cit.*
- M. Nowakowska (1978), *A formal theory of change*, in Geyer, Van der Zouwen, *op. cit.*, pp. 79-103.

- M. Nowakowska (1979), *A theory of social change*, in *Actes du Congrès Afcet, Petits groupes et grands systèmes*, ed. Hommes et Techniques, Versailles, pp. 339-357
- H. Pattee (1976), *The role of instabilities in the evolution of complex hierarchies*, in T. Burns, W. Buckley (eds.), *op. cit.*
- H. Pattee, *Dynamic and linguistic modes of complex systems*, « International Journal of General Systems », 3, pp. 259-266.
- J. Petitot (1980), *Identité et catastrophes. (Topologie de la différence)*, in C. Lévi-Strauss (a cura di), *op. cit.*
- M. Polanyi, *La conoscenza inespresa*, Armando, Roma.
- H.A. Simon (1969), *The Sciences of Artificial*, Mit Press, Cambridge, Mass., (in part il cap. « The Architecture of Complexity »).
- R. Thom (1972), *Stabilité structurelle et morphogénèse*, Benjamin Ediscience, Paris.
- R. Thom (1974), *Modèles mathématiques de la morphogénèse*, « UGE », 10/18, Paris.
- R. Thom (1977), *Structural Stability, Catastrophe Theory and Applied Mathematics*, « Siam Review », 19, 2 april.
- H. Von Foerster (1977), *The curious behavior of complex systems; lessons from biology*, in H.L. Linstone, C. Simmons (eds.), *Futures Research*, Addison Wesley, Reading, Mass.
- H. Von Foerster (1982), *On computing a reality*, in Von Foerster, *Observing Systems*, Intersystems Publ., Seaside, Ca.
- G.H. Von Wright (1968), *An essay in deontic logic and the general theory of action*, Amsterdam, North Holland.
- C.H. Waddington (1977), *Strumenti per pensare*, Est Mondadori, Milano.
- C. Zeeman (1977), *Catastrophe theory: selected papers (1972-77)*, Addison Wesley, Reading, Mass.
- M. Zwick (1978), *Dialectics and Catastrophe*, in Geyer, Van der Zouwen (eds.), *op. cit.*, pp. 129-154.

Il Prisma, collana diretta da Achille Ardigò

1. Pietro Bellasi, *Rivolta studentesca e campus universitari*
2. Giovanni Pellicciati, *L'immigrazione nel triangolo industriale*
3. Tullio Tentori, Paolo Guidicini, *Borgo, quartiere, città*
4. Pietro Bellasi, Michele La Rosa, Giovanni Pellicciati (a cura di), *Fabbrica e società. Autogestione e partecipazione operaia in Europa*
5. Emile Durkheim, *Il socialismo Definizione, origini, la dottrina saint-simoniana*
6. Donald G. McKinley, *Famiglia e classe sociale*
7. Janina Markiewicz-Lagneau, *Diseguaglianza sociale e socialismo*
8. Pierre Naville, *Verso l'automatismo sociale? Problemi del lavoro e dell'automazione*
9. Achille Ardigò, Pierpaolo Donati (a cura di), *Famiglia e industrializzazione Continuità e discontinuità negli orientamenti di valore in una comunità a forte sviluppo endogeno*
10. Giuliano Piazzi, *Soggettività e comportamento*
11. Federico D'Agostino, *La dinamica del razionale e non razionale nel processo del mutamento sociale*
12. Niklas Luhmann, *Teoria politica nello stato del benessere*
13. Alberto Tarozzi (a cura di), *Stato di emergenza*
14. Giuliano Piazzi, *Teoria dell'azione e complessità*
15. Giuliano Piazzi, Costantino Cipolla, *Il disincanto affettivo Ricerca sulla condizione giovanile in un contesto di terza Italia*
16. Edith Stein, *L'empatia* A cura di Michele Nicoletti
17. Achille Ardigò, Graziella Mazzoli (a cura di), *Intelligenza artificiale conoscenza e società*

Collana di sociologia urbana e rurale diretta da Paolo Guidicini

- 1 Paolo Guidicini (a cura di), *Gestione della città e partecipazione popolare*
- 2 Paolo Guidicini, *Sviluppo urbano e immagine della città*
- 3 Franco Martinelli, *Le società urbane Problemi e studi di sociologia*
- 4 Paolo Guidicini, *La sfida perdente*
- 5 Claudio Stroppa (a cura di), *Quartieri urbani e crisi della città*
- 6 Paolo Guidicini, *Sociologia dei quartieri urbani Analisi dinamica di un'ipotesi*
- 7 Franco Martinelli, *Società rurali e struttura di classe*
- 8 Paolo Guidicini, *Manuale di sociologia urbana e rurale*
- 9 Achille Ardigò (a cura di), *Borgo, città quartiere, comprensorio Rassegna bibliografica interdisciplinare sulle articolazioni minori della città nel contesto territoriale*
- 10 C Doglio, G Fasoli, P Guidicini (a cura di), *Misure umane Un dibattito internazionale su borgo città quartiere comprensorio*
- 11 Andrea Villani, *Realtà e miti della progettazione Politiche alternative dell'habitat e forze sociali Diritto alla città e decisione dell'importanza dei problemi urbani Dall'architettura degli architetti nel Movimento Moderno all'architettura della partecipazione Pianificazione urbanistica e pianificazione economico-sociale modelli teorici ed esperienza italiana*
- 12 Angelo Detragiache, *Crisi dei sistemi complessi e nuove strategie di sviluppo Considerazione sul caso italiano*
- 13 Paolo Guidicini (a cura di), *La condizione anziana oggi Bisogni, rapporti sociali e nuove politiche d'intervento*
- 14 Andrea Villani, *Beni culturali conservazione e progetto*
- 15 Giampaolo Catelli, Giovanni B Crispolti, *Tecnologie e valori Interrogativi sulla ristrutturazione della formazione professionale agricola*
- 16 Antonio Tosi, *Ideologie della casa Contenuti e significati del discorso sull'abitare*
- 17 Paolo Guidicini, *La comunità efficiente Centralità e marginalità in una società post-metropolitana*
- 18 Gian Franco Elia, Roberto Faenza, *Urbanistica e comunicazioni di massa*
- 19 F Demarchi, A Detragiache, G F Elia, P Guidicini, P Piazzi E Stagni, R Sutter, *L'"uomo fruitore" nella crisi della "città efficiente"*
- 20 Paolo Guidicini, Giuseppe Scidà (a cura di), *Il familismo efficiente Crisi della conflittualità e agricoltura part-time*
- 21 B M Frolic, B.H Kerblay, D Mamo, G Salvini, G Scidà, K -E Wädekin, *La società rurale nei due modelli di socialismo Cina e Unione Sovietica*
- 22 Corrado Barberis, Paolo Guidicini, Giuseppe Scidà, *La povertà nel mondo rurale in Italia*
- 23 Giampaolo Catelli, Paolo Guidicini (a cura di), *Quale comunità dopo la modernizzazione*
- 24 Paolo Guidicini (a cura di), *Sociologia urbana Quale futuro*
- 25 Paolo Guidicini, *Uomo, tecnologie e qualità della vita*
- 26 F Demarchi, R Gubert, G Staluppi (a cura di), *Territorio e comunità Il mutamento sociale nell'area montana*

- 27 P. Guidicini, G. Scidà (a cura di), *Tecnologie, culture e nuove ipotesi di sviluppo*
- 28 P. Guidicini, G. Catelli (a cura di), *Sociologia rurale Quale futuro*
- 29 Alfredo Mela, *La città come sistema di comunicazioni sociali*
- 30 P. Guidicini, F. Martinelli, G. Pieretti (a cura di), *Città e società urbana in trasformazione*
- 31 Angelo Detragiache, *Analisi e prospettive di una crisi*
- 32 Paolo Guidicini (a cura di), *Dimensione comunità Percorsi di senso in una società post-metropolitana*
- 33 Paolo Guidicini, *Il rurale riemergente Un percorso storico su ipotesi di razionalità nell'agricolo e nella non città*

Ricerche

- 1 L. Ferraresi, T. Turra, M. Fogli (a cura di), *Riconversione professionale ed esodo programmato nel mondo agricolo*
- 2 Paolo Guidicini, *Condizione urbana e cultura della terza età*
- 3 Franco Demarchi (a cura di), *L'uomo e l'alta montagna*
- 4 Paolo Guidicini (a cura di), *I segni del sociale Ipotesi su Bologna periferica minore*, con contributi di Carlo Doglio e Pier Luigi Cervellati
- 5 Gian Paolo Prandstraller, *Avvocati e metropoli Inchiesta sulla professione di avvocato nell'area lombarda*
- 6 Alberto Gasparini, *Crisi della città e sua reimmaginazione*
- 7 Paolo Guidicini, *La regina della baia Diario di un sociologo da un paese in via di sviluppo*
- 8 Paolo Guidicini (a cura di), *Immagini di una riforma Medici, cittadini e politici di fronte all'avvio della riforma sanitaria in Emilia-Romagna*
- 9 Paolo Guidicini, *L'espresso per Mombasa Città e campagna in un'ipotesi di identità perduta*
- 10 R. Gubert, G. Gadotti, *La struttura socio spaziale di Trento. Contributi sociologici alla pianificazione del centro storico*
- 11 P. Guidicini, G. Mazzoli, *L'equivoca certezza dei "legami forti"*

Povertà, sviluppo, intervento sociale

- 1 Paolo Guidicini, Giuseppe Scidà (a cura di), *Le metropoli marginali Città e mondo urbano del sottosviluppo alla ricerca di un possibile futuro*