

# Uomini + macchine = ?

di Vindice Deplano\*

"... venti tripodi ei forgiava  
per collocarli lungo le pareti  
dell'aula ben costrutta; e avea disposto  
sotto i loro piedi rotelline d'oro,  
perché da soli entrassero ai concilii  
degl'immortali, e poi, mirabil cosa  
ritornassero all'aula."

"... ancelle d'oro  
simili in tutto a giovinette vive  
venivan sorreggendo il lor signore;  
ché vivo senso chiudon esse in petto,  
e hanno forza e favella, e in bei lavori  
instrutte son dagl'immortali Dei."

[Iliade, XVIII]

Chi ha detto che i cyborg sono un'invenzione del XX secolo? L'idea (almeno quella) è piuttosto vecchia. Ma, rispetto alle sue applicazioni più recenti, qui colpisce l'assoluta mancanza di ambivalenza: il dio Efesto che lavora a tripodi semoventi e ancelle robot è orgoglioso delle sue creature come un giovane hacker. Sarà stato anche un dio, ma gli dei del tempo erano uguali in tutto agli uomini, se non per dettagli come l'immortalità.

\* Psicologo, presidente Glaux

## 1. Macchina che diventa Uomo o Uomo che diventa Macchina?

La paura (insieme alla colpa) di usurpare la funzione creatrice di vita è arrivata dopo. Il mito del Golem, per esempio, porta con sé un tema ricorrente. Siamo a Praga, anno 1580: il rabbino Judah Loew crea un essere di argilla di forma umana, nient'altro che una macchina per aiutarlo nel lavoro e per difendere gli ebrei del ghetto dai cristiani. Ma, a differenza delle ancelle di Efesto, il Golem sfugge presto da ogni controllo, diventa un pericolo pubblico e deve essere distrutto. La leggenda è il prototipo di un ricchissimo filone narrativo che va da *Frankenstein* a *Fantasia* (dove, nell'episodio dell'apprendista stregone, Topolino ha la pessima idea di farsi aiutare da una scopa animata a sbrigare le faccende di casa), per finire con *Blade Runner* (che poi

è la modesta versione cinematografica di uno straordinario romanzo di Philip K. Dick, *Do Androids Dream of Electric Sheep?*, 1966) i cui androidi si confondono con gli uomini, perché arrivano a dividerne emozioni e sentimenti. Un'infinità di leggende, romanzi e film la cui morale è sempre quella: con le creature artificiali meglio non provarci. Soprattutto perché da quando i sistemi informatici hanno pervaso la nostra vita, comportandosi talvolta in maniera (abbastanza) "intelligente", si è fatto pressante il timore che uomini e macchine finiscano per assomigliarsi un po' troppo. Sarà la macchina a diventare uomo, come nel mito del Golem e derivati, o l'uomo a ridursi a macchina?

Per essere precisi, questo secondo aspetto del problema più che un timore è una constatazione. Dal momento in cui il sistema industriale ha ottenuto il dominio del mondo produttivo, ha trasformato milioni di persone in elementi residuali, che riempiono gli spazi che le macchine non sono in grado di occupare o, semplicemente, costano meno. Ecco la giustificata angoscia di Charlie Chaplin in *Tempi Moderni*, quando un operaio piccolo piccolo diventa un'appendice della macchina, finendo risucchiato nei suoi ingranaggi: un processo che non è affatto superato nemmeno nel progredito Occidente e che dilaga con la globalizzazione nel Sud (e nell'Est) del mondo. E' ovvio che in questo scenario le macchine in sé c'entrano poco: si tratta sempre di uomini che, attraverso le macchine, fanno diventare macchine altri uomini.

## 2. Cercando intelligenza

E' solo dalla fine degli anni '40 che qualcuno ha provato seriamente a costruire macchine intelligenti. Una ricerca che ha seguito almeno tre diverse scuole di pensiero che hanno prodotto, con alterne fortune, grandi risultati:

- la cibernetica;
- l'informatica;
- la vita artificiale.

Anche se, superficialmente, si tende a farli confluire in un unico calderone, trattandoli quasi da sinonimi, sono modelli radicalmente diversi. Distinguerli, ripercorrendo la loro evoluzione, è indispensabile, soprattutto perché hanno finito per ampliare a dismisura il loro originario campo di applicazione, producendo idee forti sul funzionamento del cervello, della mente e della società. Un paradossale circolo vizioso: sistemi artificiali che producono l'uomo a propria immagine, influenzando il pensiero scientifico, la letteratura e la nostra idea di futuro.

### 2.1. Cibernetica

Cibernetica: letteralmente "l'arte del timoniere". Più che una scienza, una visione del mondo(1) sviluppata negli anni '40 da Norbert Wiener, un logico-matematico che durante la guerra si occupava di servomeccanismi applicati ai cannoni antiaerei, il cui problema principale era colpire un bersaglio in rapido movimento anticipandone la traiettoria. Un problema, capì Wiener, che richiedeva di superare il classico modo di vedere i rapporti causa/effetto, facendo in modo che l'effetto di un'azione modificasse l'azione stessa fino a ottenere il risultato voluto. Era la nascita del concetto di retroazione (*feedback*), alla base di molti sistemi meccanici, ma anche di tutti i meccanismi fisiologici di regolazione che permettono di raggiungere un equilibrio *omeostatico* (un termine di successo che dobbiamo proprio ai cibernetici).

Wiener non tardò ad applicare anche al sistema nervoso (e quindi agli esseri viventi) e alle organizzazioni l'idea di retroazione, vista come processo chiave di ogni sistema di controllo. Divenne in pochi anni la figura centrale di un ampio movimento interdisciplinare che coinvolgeva ingeneri, fisiologi, psicologi, economisti e scienziati dell'organizzazione in una fase particolarmente felice della storia del pensiero. Basta ricordare che fu la cibernetica a dare impulso e rigore scientifico alla teoria dei sistemi, che è ancora la base di qualunque ragionamento sulle organizzazioni.

Nell'immediato dopoguerra i cibernetici davano molta importanza alla realizzazione di piccoli automi, come la famosa "tignola", robot semovente con lo sterzo collegato a due fotocellule, capace di inseguire una fonte luminosa. Automi, quindi, in grado di percepire l'ambiente e, grazie alla retroazione, controllare il proprio movimento senza alcuna imposizione esterna, manifestando un comportamento "teleologico" (orientato a un fine). Negli anni '50 anche in Italia si sviluppò un importante filone di ricerche cibernetiche, non sempre del tutto integrato nel mondo accademico. Uno tra i personaggi più rappresentativi del tempo è Silvio Ceccato, che riuscì a coniugare, in perfetto stile cibernetico, lo studio del funzionamento mentale e del linguaggio con la costruzione di straordinari modelli meccanici per imitare non solo il prodotto del pensiero, ma anche i suoi procedimenti interni. La prima realizzazione, presentata nel 1956 alla Mostra internazionale dell'automatismo di Milano, fu chiamata, non senza ironia, "Adamo II". Adamo II riproduceva alcune operazioni mentali legate al linguaggio attraverso circuiti elettrici, selettori elettromeccanici, lampadine: più che a un robot assomigliava a un quadro di comandi costruito col meccano, ma fece un notevole scalpore (Ceccato, 1972; Marietti, 1956).

Nell'insieme, i cibernetici tendevano ad avere una precisa visione del mondo. Trasferendo le proprie concezioni alla società e alla politica, contrapponevano l'autoregolazione all'accentramento del controllo e delle decisioni (quindi, dati i tempi, alle dittature) e la teleologia al regime liberista di mercato. Con queste idee ben radicate, guardavano con interesse e speranza i primi calcolatori elettronici, ma sottovalutando un aspetto centrale, che avrebbe decretato la rapida fine del movimento: i computer si basavano su un modello agli antipodi del concetto di autocontrollo. Erano (e sono) macchine programmabili.

## 2.2. *Intelligenza artificiale*

Era stato, già negli anni '30, il matematico Alan Turing (1936) a disegnare per primo una "macchina universale" in grado di eseguire qualsiasi possibile manipolazione di simboli, svolgendo un lavoro che di solito consideriamo intellettuale, fino a imitare i pensieri umani. Il cuore della macchina era di una semplicità addirittura imbarazzante per chi vuole vederla come esempio di intelligenza. Niente più di una tabella che metteva in relazione tre elementi:

- un simbolo di input;
- un simbolo che definiva uno dei possibili "stati interni" della macchina;
- un simbolo di output o un nuovo stato interno frutto della combinazione tra i due simboli precedenti.

La "macchina di Turing", che per molti anni rimase sulla carta, è il prototipo di tutta l'evoluzione successiva. L'arrivo dei primi veri calcolatori digitali degli anni '50 decretò la fine dei sistemi autoregolati, cari ai cibernetici, in favore di una rigida distinzione tra hardware (letteralmente "ferramenta") e software. Ovvero un esecutore (il computer)

governato da un insieme di istruzioni (il programma) che gli dicono passo passo cosa fare.

Un folto gruppo di ricercatori delusi dalla cibernetica ritenevano, infatti, che programmare le macchine dall'esterno sarebbe stato il modo più rapido per ottenere comportamenti "intelligenti" (ovvero, che sarebbero considerati intelligenti negli esseri umani): giocare a scacchi, risolvere problemi di logica, interpretare il linguaggio naturale. I loro programmi sono passati alla storia per i nomi altisonanti (*General Problem Solver*, per dirne uno), più che per le loro effettive capacità. Ma quando coniarono (già nel 1956) la fortunata espressione "intelligenza artificiale", erano davvero convinti che di reale intelligenza si trattasse.

Era stato Turing (sempre lui) a individuare il livello di soglia. Il cosiddetto "Test di Turing" (Turing, 1950) è una variante del gioco dell'imitazione: sarà considerata intelligente una macchina in grado di allacciare un dialogo con una persona, facendo sì che l'interlocutore creda di avere a che fare con un altro essere umano. Vincendo questo gioco, sostiene Turing, saremmo costretti a riconoscere che la macchina "pensa".

Così quando pochi anni dopo Joseph Weizenbaum lanciò *Eliza*, un programma "per analizzare frasi e frammenti di frasi", dotandolo di un "copione" legato al modo di fare degli psicoterapeuti rogersiani (che notoriamente non puntano all'interpretazione del comportamento dei pazienti), diede vita al più colossale equivoco della storia dell'informatica (Weizenbaum, 1976). *Eliza* non era niente più di un giocattolo che, usando diversi trucchi, riusciva a simulare una dignitosa conversazione su argomenti limitati. Ma, con grande sconcerto dello stesso Weizenbaum, molti interlocutori non si rendevano conto che dall'altra parte della telescrivente non c'era nessuno psicoterapeuta e anche quando ne venivano informati restavano convinti che la macchina riuscisse a capirli. Su tali basi ci fu chi ritenne molto seriamente possibile e auspicabile l'automazione della psichiatria, inserendo stabilmente *Eliza* nel sistema sanitario. Tra loro, anche personaggi del calibro di Herbert Simon, premio Nobel per l'economia. Questo solo episodio dà l'idea del clima culturale del momento.

Il provvisorio successo dell'intelligenza artificiale, come accade spesso, portò al tentativo di spiegare la mente usando induttivamente i modelli con i quali erano progettati i computer. L'esistenza di macchine dotate di un programma composto da simboli, immateriale ma estremamente concreto, sembrava fare finalmente luce sulla relazione tra mente e cervello, portando allo sviluppo della psicologia cognitivista (Johnson-Laird, 1988).

L'idea in sé sarebbe corretta: se riusciamo a riprodurre con un certo meccanismo alcuni fenomeni, è lecito ipotizzare che lo stesso meccanismo agisca anche in quei fenomeni. Solo che noi questa volta sappiamo benissimo che il funzionamento del cervello è completamente diverso da quello di un calcolatore.

### 2.3. *Reti neurali e vita artificiale*

L'idea base dell'intelligenza artificiale (nella sua versione "forte") era la realizzazione di un superprogramma da inserire in un altrettanto super computer, costruendo una mente artificiale manipolatrice di simboli. Non funzionò mai veramente: se nel 1997 il computer Deep Blue riuscì a battere ripetutamente a scacchi un campione come Garry Kasparov, risultò assolutamente impossibile insegnare a una macchina le più elementari regole del buon senso.

Ancora una volta, con i ripetuti fallimenti si è fatta avanti una nuova ipotesi. Il punto di partenza è che, secondo una celebre metafora di Douglas Hofstadter, le formiche non sono intelligenti, ma i formicai sì (Hofstadter, 1979, p. 337-364). Lo stesso Marvin Minsky, il pioniere dell'intelligenza artificiale, finì per abbandonare l'idea della mente come oggetto monolitico equiparabile a un programma simbolico, per vederla come un insieme di agenti indipendenti ma interconnessi: "Se non si riesce a spiegare la mente in termini di cose che non hanno pensieri o sensazioni propri, non si fa altro che marciare in tondo" (Minsky, 1985. p. 24). C'è un doppio salto in questo modo di vedere l'intelligenza:

- non centralizzata, ma diffusa;
- non negli elementi costitutivi del sistema, ma nei loro collegamenti.

Ecco il nuovo paradigma connessionista, che rinnega i modelli informatici per avvicinarsi, riscoprendola, alla cibernetica e alla sua attenzione per la fisiologia del cervello. Non a caso, le reti neurali, che tutti considerano la tecnologia d'avanguardia, risalgono ai primi anni '40, quando Warren McCulloch e Walter Pitts (1943) progettarono i primi neuroni artificiali. Allora non diedero grandi risultati, ma questo è un dettaglio tecnico trascurabile (con le tecnologie del tempo era ben poco quello che funzionava davvero), visto che oggi quasi tutte le applicazioni "intelligenti" si basano proprio su reti neurali.

Una rete neurale è costituita da elementi (i "neuroni" artificiali, appunto) collegati tra loro in modo che:

- ogni neurone riceva segnali da altri neuroni e/o da sensori (che captano immagini, suoni, movimenti, ecc.);
- ogni neurone trasferisca l'impulso in uscita ai neuroni con cui è collegato solo se la somma dei segnali ricevuti supera una certa soglia;
- il peso di ciascuna "sinapsi" tra due neuroni possa variare da 0 (nessun collegamento) a 1 (massima intensità);
- esistano neuroni di output che forniscono all'esterno la "risposta" della rete ai segnali di ingresso.

Il sistema funziona a meraviglia con una serie di problemi, tra cui quelli relativi al riconoscimento di stimoli ambigui (immagini, scrittura manuale, targhe automobilistiche, banconote false, ecc.). L'aspetto interessante è che all'inizio il peso delle connessioni è del tutto casuale. Vuol dire che la rete non funziona se non viene sottoposta a una fase di apprendimento, in cui i pesi si modificano autonomamente fino, per esempio, a riconoscere tutte le lettere scritte con grafia incerta.

All'Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione (Cnr) di Roma ho visto con i miei occhi robot fatti col Lego, dotati di sensori, motore e un cervello con meno di dieci neuroni, muoversi in un labirinto senza sbattere da tutte le parti (2). Un sistema che nasce dalle ricerche sulla vita artificiale basata su algoritmi genetici: si parte da un ambiente (virtuale naturalmente) in cui un certo numero di "creature" basate su reti neurali possono vivere, competere e riprodursi. Ogni tanto il computer seleziona le più adatte in base a qualche criterio (in questo caso, la capacità di muoversi in uno spazio pieno di ostacoli) e il gioco ricomincia. È sorprendente notare che dopo qualche decina di generazioni (che al computer prendono pochissimo tempo) le creature sono in grado di muoversi con grande agilità, senza che nessuno abbia fatto niente per insegnarglielo direttamente, né abbia progettato algoritmi per evitare gli ostacoli. A quel punto è sufficiente trasferire i pesi delle reti neurali dal computer ai robotini per vederli scorrazzare senza problemi per la stanza. Ottenendo così sistemi dotati di un corpo,

capacità di apprendere e di evolvere: tutte caratteristiche che siamo abituati a considerare esclusive degli esseri viventi.

L'idea è promettente. E inevitabilmente c'è chi è pronto a giurare che basta aumentare il numero dei neuroni, da poche decine (che danno già risultati accettabili per compiti semplici) fino a raggiungere la complessità del cervello umano, per ottenere altrettanta intelligenza (se non di più).

	<b>Cibernetica</b>	<b>Intelligenza Artificiale</b>	<b>Reti neurali</b>
<i>Natura del sistema</i>	Sistemi di elementi (sensori ed attuatori) collegati da reti di retroazione	Macchine guidate da un programma che elabora simboli	Reti di neuroni artificiali
<i>L'apice del successo</i>	1940-1950	1960-1980	Oggi
<i>Sistema di controllo</i>	Decentrato	Accentrato	Decentrato
<i>Risultati concreti</i>	Scarsi	Significativi per alcune applicazioni (i "sistemi esperti")	Promettenti
<i>Possibilità di apprendere</i>	No	No	Sì
<i>Meccanismi evolutivi</i>	No	No	Sì
<i>Modelli di interpretazione del comportamento umano</i>	Fisiologia del sistema nervoso (azioni e retroazioni)	Cognitivismo: la mente elaboratrice di simboli	Connessionismo: reti di neuroni

**Tab. 1 / Modelli a confronto**

### **3. Da uomo contro macchina a uomo più macchina**

Sono rimasti in pochi a credere seriamente che un computer che supera il Test di Turing sia in grado di capire e pensare alcunché. Piuttosto, man mano che le macchine hanno raggiunto comportamenti "intelligenti" si è spostato, come in un miraggio, il concetto stesso di intelligenza. Così gli ottimisti che attendevano una calcolatore intelligente almeno quanto *Hal 9000* (il computer di *2001 Odissea nello spazio*) allo scadere del secondo millennio, sono costretti a rinviare l'obiettivo di qualche decennio.

Esiste una categoria di ricercatori che ragiona più o meno così:

- parte da un sistema sufficientemente funzionante (computer programmabile, rete neurale o altro);
- ne ipotizza un progressivo incremento quantitativo (più potenza di calcolo, più neuroni);
- traccia una linea in un grafico e decide quando il sistema diventerà più intelligente dell'uomo;
- se tende al tragico, ipotizza il prossimo avvento dell'Era delle Macchine, con o senza estinzione dell'umanità.

La maggioranza, invece, ritiene che questo sogno (o incubo) sia fallito e basta, anche nella sua versione neurale. E pensa che invece di cercare di costruire macchine per competere con l'uomo, sarebbe meglio costruirne altre in grado di aumentare l'intelligenza umana. I guru dell'intelligenza artificiale non lo accetteranno mai, ma la storia sembra aver preso proprio questa direzione.

### 3.1. *L'artefatto che ci rende intelligenti*

"La scienza scopre.  
L'industria applica.  
L'uomo si adegua."

Questo programma così limpido nella sua chiarezza era il motto della Fiera Mondiale di Chicago del 1933 (3). Ci sono voluti decenni, ma il modo ottocentesco di intendere lo sviluppo proprio dei *fan* dell'intelligenza artificiale sta iniziando a cambiare, passando dall'idea della competizione a quella della cooperazione e adottando il sistema uomo più macchina come nuovo oggetto di studio.

D'altra parte, la competizione è una partita senza storia: sull'incapacità delle macchine di essere realmente intelligenti non serve aggiungere altro. Ma anche la mente umana in quanto macchina ha troppi difetti: non riesce concentrarsi più di tanto, non ha grandi capacità di memoria (peggio: manipola i ricordi a posteriori), è imprecisa, le sue capacità logiche e persino la percezione sono offuscate dalle incursioni delle pulsioni emotive. Proprio per questo, già dall'invenzione del linguaggio e poi della scrittura, il comportamento intelligente è sempre andato di pari passo con l'invenzione di "artefatti cognitivi" (Norman, 1993), prima per memorizzare, poi per effettuare calcoli, concentrarsi su un lavoro ripetitivo, captare con precisione segnali, dedurre conclusioni logiche da una grande quantità di dati: tutti compiti che riescono particolarmente bene a certi sistemi meccanici.

Se l'uomo fa l'uomo e la macchina fa la macchina, lo sviluppo tecnologico prende una direzione molto promettente: cercare la migliore integrazione, adattando gli artefatti (specie quelli cognitivi) a chi li usa. Impensabile un adattamento si segno opposto: la maggior parte dei disastri attribuiti a "errore umano" sono dovuti in realtà a una tecnologia scadente, progettata ignorando i criteri di ergonomia cognitiva.

Chi si ricorda i computer di una quindicina di anni fa, che si gestivano attraverso comandi scritti da inserire senza cambiare una virgola? I progettisti di computer e di altri artefatti cognitivi continuano sempre a cercare prestazioni migliori, ma si pongono seriamente anche problemi di rappresentazione e comunicazione. Pensando, per esempio, all'uso di metafore che consentano all'utilizzatore di applicare schemi mentali almeno in parte già noti. Dai primi Apple Lisa (sfortunati precursori del MacIntosh) in poi, tutti i più diffusi sistemi operativi simulano a video una specie di scrivania che, come ogni scrivania, può essere ricoperta di documenti, anche uno sopra l'altro, da trattare "afferrandoli" con il cursore del mouse, visto come il naturale prolungamento della mano. E mettono un cestino dove trascinare i file da eliminare, fanno comparire un pupazzetto animato da buone intenzioni ogni volta che potremmo essere in difficoltà con l'impaginazione di un testo e via dicendo. Il sistema non sempre funziona (francamente, a volte irrita), ma è importante lo sforzo del progettista in questa direzione.

Negli ultimi anni, una delle sfide tecnologiche che esprime meglio il nuovo clima culturale è la ricerca dell'accessibilità universale (4). Significa dare a tutti (comprese le

persone con disabilità fisiche, psichiche, percettive o prive di sistemi informatici di ultima generazione) l'accesso ai contenuti informativi, soprattutto in ambiente Internet. E' un'esperienza particolarmente istruttiva entrare in qualche forum tecnico per osservare quanta attenzione viene data a problemi quali il modo con cui un non vedente può rappresentarsi la struttura di una pagina web, leggere una tabella "linearizzata" o inserire dati in un modulo che originariamente è stato concepito per essere visualizzato nel monitor.

Oltre a essere nell'immediato più produttivo, questo modo di pensare è senz'altro più rassicurante della rincorsa alla presunta intelligenza nelle macchine: significa godersi l'aiuto delle meravigliose ancelle d'oro di Efesto, senza doversi guardare le spalle attendendo che da un momento all'altro un Golem qualsiasi tenti di prendere il nostro posto.

Uomo	Macchina (anni '80)	Macchina (oggi)
<b>Competenze individuali</b>		
<b>Intelligenza (capacità di porre rapporti)</b>		
Ha la possibilità da capacità (è in grado di) e quella da alternativa: può fare quell'operazione, non farla o decidere di farne un'altra.	Ha la possibilità da capacità e nient'altro: o fa quell'operazione o è rotta o è ferma.	Può eseguire operazioni differenziate in base al proprio apprendimento.
<b>Pone</b> rapporti quantitativamente indefiniti e indefinibili.	<b>Attiva</b> rapporti fissi, predeterminati o predeterminabili nella quantità.	Attiva rapporti predeterminabili nel risultato finale.
Può cambiare <b>anche i termini</b> del rapporto in modo imprevedibile.	<b>Attiva</b> rapporti in quantità e velocità inarrivabile per l'uomo, ma tutti predeterminati nella qualità e nella tipologia: i <b>termini</b> del rapporto sono precostituiti e prevedibili.	
<b>Automatismi</b>		
Gli automatismi rappresentano la patologia.	Gli automatismi rappresentano la fisiologia.	
<b>Comunicazione</b>		
E' <b>fonte</b> di comunicazione, <b>soggetto</b> comunicante: trasmette operazioni mentali che egli stesso costituisce.	E' un <b>mezzo</b> di comunicazione, <b>oggetto</b> comunicante: fa operazioni meccaniche per trasferire operazioni mentali già fatte da altri.	
I gradi di flessibilità sono tendenzialmente infiniti: può dare risposte <b>consapevoli</b> , variandole secondo un disegno-obiettivo autonomo e cosciente.	I gradi di flessibilità sono limitati alla risposta a <b>determinate</b> variazioni dello stimolo e comunque strettamente condizionati dalla complessità del software.	I gradi di flessibilità sono infiniti all'interno di limiti predeterminati.
<b>Competenze relazionali (didattica)</b>		
<b>Memorizzazione</b>		
Dispone di memoria letterale, selettiva, riassuntiva, di mantenimento, creativa, propulsiva, associativa.	Dispone di "memoria" letterale e selettiva (associativa in parte).	Dispone di "memoria" letterale, selettiva e associativa.



<b>Esercitazione</b>		
Apprende, oltre che per ripetizione, per analogia, per percorsi multipli individualizzati, per associazione qualitativa.	Può supportare l'apprendimento su variabili statistiche quantitative e su "percorsi" didattici fissi.	Può supportare l'apprendimento simulando realisticamente segmenti di realtà.
Ripete per accentuazione dei punti critici, con enfasi emotiva sulle difficoltà, tenendo conto delle variabili specifiche del rapporto di comunicazione docente-discente.	Ripete in modo tecnico-meccanico, per "clonazione" rigida delle medesime stringhe didattiche.	
<b>Ragionamento</b>		
Ricostruisce le procedure dimostrative (es. teoremi) tenendo conto dei punti accertati di non comprensione e dei motivi soggettivi (discente) e/o oggettivi-contingenti (es. ambiente).	Ripercorre le sequenze della "dimostrazione" nell'identico modo, con gli stessi passaggi e gli stessi esempi.	
<b>Apprendimento</b>		
Può assicurare soltanto l'insegnamento: assicura l'apprendimento solo in via indiretta (inferenza) e specifica.	Presidia l'apprendimento per controllo diretto e generalizzato.	Stimola l'apprendimento diventando un "oggetto per pensare".
<b>Competenze euristiche</b>		
<b>Cambiamento</b>		
Resiste al cambiamento, ai tentativi di modificarlo e tende ad attribuire l'errore ad altri.	E' indifferente all'errore: si lascia modificare/aggiustare, sostituire	
<b>Innovazione</b>		
Significa cambiamento pur restando sé stesso.	Significa mutamento di tipo fisico nel sistema (hardware e/o software)	Significa anche mutamento autogenerato per adattarsi ai compiti previsti.
<b>Creatività</b>		
Può affrontare anche problemi complessi, dove le singole parti non si possono distinguere. Può riattivare le funzioni verso obiettivi imprevisti.	Può affrontare soltanto problemi complicati, dove le singole parti si possono distinguere. Può ripristinare e governare l'interazione dinamica delle parti verso i compiti previsti.	Può affrontare anche problemi complessi, dove le singole parti non si possono distinguere. Ma solo all'interno dei compiti previsti.
Il suo output è anche scientifico (sistema di ipotesi, metodo scientifico).	Il suo output può essere solo tecnico (sistema di certezze).	

**Tab. 2 / Differenze tra uomini e macchine: un'evoluzione (le prime due colonne sono riprodotte, con alcuni adattamenti, da Amietta 1990, la terza mostra, dove esistono, gli elementi nuovi legati prevalentemente ai modelli neurali e alla migliore integrazione uomo/macchina.)**

## Note bibliografiche

- AMIETTA Pierluigi, 1990, *La creatività come necessità*, Etas.
- CECCATO Silvio, 1972, *La mente vista da un cibernetico*, Eri.
- COHEN John, 1966, *Human Robots in Myth and Science (I robot, 1981, De Donato)*.
- DICK Philip K., 1966, *Do Androids Dream of Electric Sheep? (Il cacciatore di androidi, 1986, Nord)*.
- MCCULLOGH Warren, PITTS Walter, 1943, *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*, "Bulletin of Mathematical Biophysics", n. 5.
- HOFSTADTER Douglas R., 1979, *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid*, Basic Books (*Gödel, Escher, Bach: un'eterna ghirlanda brillante*, Adelphi, 1984).
- JOHNSON-LAIRD Philip N., 1988, *The Computer and the Mind*, Collins (*La mente e il computer*, il Mulino, 1990).
- MARIETTI Enrico, 1956, *Adamo II*, "Civiltà delle macchine", n. 3.
- MINSKY Marvin, 1985, *The Society of Mind*, Simon & Shuster (*La società della mente*, 1989, Adelphi).
- OMERO, *Iliade* (trad. Guido Vitali, 1956, Paravia).
- PRATT Vernon, 1987, *Thinking Machines*, Blackwell (*Macchine pensanti*, 1990, Il Mulino).
- TURING Alan, 1936, *On Computable Numbers with an Application to the "Entscheidungsproblem"*, "Proceedings of the London Mathematical Society".
- TURING Alan, 1950, *Computer Machinery and Intelligence*, "Mind", n. 59 ("Macchine calcolatrici e intelligenza", in *Intelligenza meccanica*, 1994, Bollati Boringhieri).
- WIENER Norbert, 1950, *The Human Use of Human Beings*, (*Introduzione alla cibernetica*, 1950, Boringhieri).
- WEIZENBAUM Joseph, 1976, *Computer Power and Human Reason*, Freeman (*Il potere dei computer e la ragione umana*, 1987, Edizioni Gruppo Abele).