

Intelligenza umana e intelligenza artificiale

di *Astro Calisi*

Sommario

1. Le grandi promesse dell'intelligenza artificiale - 2. L'intelligenza umana e la computazione - 3. L'intelligenza umana e le reti neurali - 4. L'intelligenza e la logica *fuzzy* - 5. L'intelligenza alla prova dei test - 6. Considerazioni conclusive

1. Le grandi promesse dell'intelligenza artificiale

Fin dalla sua compiuta enunciazione teorica da parte di Alan Turing, la computazione si concretizza nello svolgimento di compiti ben specificati mediante l'utilizzo di un numero finito di operazioni elementari. L'esecuzione delle operazioni avviene sulla base di procedure o *algoritmi* inseriti nelle istruzioni che costituiscono il *programma* dell'elaboratore.

Una macchina computazionale si limita quindi a leggere, in maniera sequenziale, i passi del programma, eseguendo calcoli, confrontando tra loro dati, compiendo "scelte" (salti condizionati) in relazione ai risultati ottenuti. Ogni operazione che essa svolge deve essere stata potenzialmente prevista e opportunamente pianificata nei suoi possibili esiti da parte del costruttore. In nessun caso, la macchina è in grado di spingersi al di là della propria programmazione, poiché si limita all'esecuzione meccanica delle diverse istruzioni finché non giunge al termine del percorso ideale previsto per ogni specifico compito.

Il termine *Intelligenza Artificiale* fu introdotto ufficialmente nel linguaggio informatico nel 1956, in occasione del congresso del Dartmouth College di Hannover (New Hampshire). Ad esso presero parte i rappresentanti più importanti della nuova disciplina: Marvin Minsky, Allen Newell, Herbert Simon e John McCarthy.

Gli obiettivi che si proponeva inizialmente l'*Intelligenza Artificiale*, esplicitamente dichiarati da Simon, erano di arrivare nell'arco di una decina di anni a sistemi informatici capaci di battere un campione mondiale di scacchi, di dimostrare importanti teoremi matematici e di render conto delle principali teorie del comportamento umano, nel senso che queste ultime si sarebbero potute tradurre integralmente in programmi per computer.

Oggi, a quasi 60 anni di distanza, possiamo dire che l'unico dei traguardi fissati da Simon agli albori dell'avventura informatica ad essere effettivamente raggiunto è quello della vittoria di un computer su un campione mondiale di scacchi. Nel 1996, infatti, con ben 30 anni di ritardo, il campione Gary Kasparov venne battuto da *Deep Blue*, un supercomputer funzionante in parallelo, capace di analizzare 200 milioni di mosse al secondo.

I computer attuali sono incredibilmente più veloci dei primi prototipi: allora, con apparecchiature che occupavano interi fabbricati, funzionanti a valvole termoioniche, si viaggiava a poche centinaia di operazioni al secondo; adesso, anche un comune computer domestico, sistemato comodamente su una scrivania, è capace di svolgere centinaia di milioni di operazioni elementari al

secondo, mentre certi supercomputer destinati ad usi militari o alla ricerca scientifica arrivano ad alcune decine di migliaia di miliardi di operazioni per secondo.

Non si può negare che la tecnologia informatica sia riuscita a raggiungere traguardi notevolissimi nel campo dell'emulazione di alcune attività un tempo di esclusiva prerogativa dell'uomo. Oltre a giocare e a vincere al gioco degli scacchi, i computer di oggi riescono a scrivere sotto dettatura, a leggere un testo scritto, a manovrare bracci meccanici che eseguono con notevole autonomia montaggi di auto o elettrodomestici, per parlare soltanto di alcune delle realizzazioni più frequenti.

Ma in tutto questo, essi si limitano a seguire istruzioni inserite in precedenza nei loro circuiti di memoria, utilizzando algoritmi di calcolo e criteri di decisione predefiniti. Svolgono compiti, con grande precisione ed efficienza, ma lo fanno attraverso l'esecuzione di un numero incredibile di operazioni estremamente stupide, in maniera del tutto meccanica, senza capire e senza esserne minimamente consapevoli; senza saper aggiungere nulla di nuovo, nulla di autenticamente originale, alla loro attività.

2. L'intelligenza umana e la computazione

L'intelligenza umana è senz'altro capace di applicarsi con successo a calcoli e operazioni basate sulla logica formale, anche se, in questo tipo di attività, essa è di solito assai meno veloce e maggiormente soggetta ad errori rispetto a un computer. Essa può tuttavia spingersi ben al di là della meccanica applicazione di algoritmi per lo svolgimento di compiti la cui soluzione è, in ultima analisi, contenuta in potenza nella procedura utilizzata.

Una delle definizioni di intelligenza più largamente accettata è quella in cui essa viene considerata come *capacità di risolvere problemi*. Si presuppone, ovviamente, che i problemi siano *nuovi* o, comunque, che contengano elementi di sostanziale originalità rispetto ad analoghi problemi affrontati (o visti affrontare) con successo in passato. Oppure si richiede che i problemi stessi vengano risolti in maniera innovativa. In generale, si tende a considerare un problema come autentico quando non si conoscono le regole e i procedimenti che conducono alla sua soluzione. Da questo punto di vista, i "problemi" assegnati ordinariamente agli studenti di matematica non sono da considerare autentici. (1)

Affrontare e risolvere problemi comporta in genere il ricorso a operazioni mentali che non appaiono esattamente sovrapponibili alla piatta applicazione di regole e procedure preesistenti. Molte volte si tratta di trasferire a una situazione presente, in tutto o in parte, le modalità o gli strumenti utilizzati con successo in passato, in circostanze che presentavano analogie più o meno pronunciate con quelle attuali. Spesso tali modalità e strumenti vanno adattati, o modificati, per poter essere applicati opportunamente alla nuova situazione. Tutto questo implica la messa in atto di processi di *generalizzazione* e di *discriminazione* non riconducibili a norme esattamente definibili a priori: le analogie e le differenze, d'altronde, non sono mai tali in assoluto, bensì in relazione a quei fattori che vengono, di volta in volta, ritenuti significativi all'interno di un determinato contesto problematico.

Se l'intelligenza fosse riducibile alla capacità di servirsi di istruzioni preconfezionate, perché mai non viene giudicato particolarmente intelligente un bravo impiegato capace di svolgere con cura e dedizione il proprio lavoro applicando scrupolosamente regole e procedure? Osservando l'attività di un simile impiegato attraverso il filtro costituito dalla metafora informatica, bisognerebbe infatti concludere che egli si comporta in maniera sempre più intelligente man mano che cresce il numero delle procedure a sua disposizione. In realtà, una maggiore disponibilità di istruzioni (ammesso che cresca in ugual misura la capacità di consultarle in tempi utili) comporta semplicemente la possibilità di affrontare adeguatamente una gamma più ampia di situazioni. Ma

l'aumento delle istruzioni a cui far riferimento non migliora affatto la capacità di affrontare situazioni *nuove*, non previste dal bagaglio delle istruzioni possedute.

Radicalizzando i concetti fin qui espressi riguardo alla capacità dell'intelligenza umana di risolvere problemi autentici, giungiamo alla conclusione che non esiste (e non potrà mai esistere) un metodo generale per la soluzione dei problemi. Ogni problema, infatti, è tale perché non si presta ad essere superato con i procedimenti e con gli schemi di pensiero disponibili a un determinato momento. Non solo non esiste un procedimento in grado di affrontare con successo ogni genere di problemi, ma non esiste neppure un criterio - un metodo universale - per stabilire con certezza se un dato problema è risolvibile.

Non esiste neppure un metodo per individuare problemi, implementabile sotto forma di programma. Se esistesse un metodo per individuare problemi, per risolverli o semplicemente per stabilire se essi siano risolvibili, noi potremmo implementarlo in un programma, ampio e complesso quanto necessario, e da quel momento esso potrebbe fare le veci della nostra intelligenza. Ma, visto che non è così, siamo costretti a riconoscere che la semplice applicazione di regole e procedimenti noti, per lo svolgimento di compiti di cui si conoscono già tutti gli elementi implicati, non può essere elevata a paradigma rappresentativo dell'intelligenza. La computazione, come descritta precedentemente, può al massimo venir considerata *una delle componenti* di tale facoltà: l'aspetto meno qualificante e stereotipato, sicuramente indispensabile in molte circostanze, ma non in grado di esaurirne tutte le manifestazioni e possibilità, quello che, non a caso, può essere svolto (con maggior rapidità e precisione) da un elaboratore elettronico.

Coloro che identificano completamente l'intelligenza con le capacità computazionali tendono di solito a minimizzare i limiti degli attuali elaboratori rispetto alle capacità dell'uomo, attribuendoli in ogni caso a una insufficiente potenza di calcolo, a una carenza di informazioni o anche a un'inadeguatezza del software. Se tuttavia l'intelligenza si riducesse soltanto a capacità di elaborazione dell'informazione sulla base di procedimenti predefiniti, perché mai i computer sarebbero così incredibilmente veloci e precisi nell'eseguire operazioni di tipo logico-matematico (ossia proprio quelle operazioni a cui fa riferimento la definizione d'intelligenza) e si mostrano invece tanto goffi e inadeguati di fronte a compiti pratici che gli esseri umani svolgono con tanta facilità e prontezza?

Ci dev'essere qualcosa di straordinariamente efficace in certe operazioni mentali e nei processi di scelta e di decisione posti in atto dall'uomo, i quali non sembrano seguire rigorosamente i modelli algoritmici tipici del funzionamento delle macchine computazionali. Quale altra conclusione potrebbe essere tratta dalla considerazione che c'è stato bisogno di un supercomputer come Deep Blue, con una potenza di calcolo pari a 200 milioni di mosse al secondo, per battere un campione di scacchi umano, in grado, nel migliore dei casi, di prendere in esame solo pochissime mosse ogni secondo? A una tale impressionante differenza nell'efficacia tra i modi di procedere della macchina e quelli umani va quindi riconosciuta una valenza non solo quantitativa, bensì qualitativa: i due modi di procedere sono profondamente diversi e quelli utilizzati dall'uomo sono incomparabilmente più efficaci di quelli computazionali, delle macchine. C'è inoltre da considerare che il gioco degli scacchi si basa interamente sulla logica, dominio nel quale la computazione si trova completamente a suo agio. I possibili sviluppi di ogni mossa sono in numero enorme, ma certamente non infinito. Nella maggioranza delle situazioni che gli uomini sono chiamati ad affrontare, invece, le possibili soluzioni non sono esattamente definite: vanno ricercate, adattandole da situazioni simili incontrate in passato; in alcuni casi, sono necessarie soluzioni del tutto nuove che vanno ideate con un processo creativo che ha ben poco a che vedere con la logica. La netta differenza di prestazioni delle macchine in situazioni pratiche viene di solito spiegata dai sostenitori dell'analogia mente-computer con la tesi secondo la quale dette situazioni richiederebbero una grande quantità di informazioni per essere affrontate, e ciò per via della

variabilità dei contesti e anche per la specificità dei significati che questi assumono di volta in volta. Una larga parte di tale informazione sarebbe implicita, cioè assorbita inconsapevolmente attraverso l'interazione con l'ambiente, e quindi non solo non esplicitabile dal soggetto in forme proposizionali, ma anche ignota allo stesso soggetto.

Si può tuttavia osservare che gli uomini riescono a cavarsela, sia pur con qualche difficoltà, anche in situazioni nuove, supplendo a una carenza di informazioni con il ricorso alle facoltà creative. Sembrerebbe così lecito il sospetto che la richiesta di un numero incredibilmente alto di informazioni, per affrontare le situazioni ordinarie in cui l'uomo si trova coinvolto, rappresenti soltanto un "surrogato computazionale" delle capacità creative. Questo accadrebbe perché i sostenitori dell'analogia mente-computer, dall'alto della loro prospettiva, non riescono a concepire le difficoltà di affrontare adeguatamente i problemi se non in termini di insufficienza di informazioni e/o di carenze nella dotazioni software.

Una tale differenza di prestazioni viene di solito spiegata dai sostenitori dell'analogia mente-computer con la tesi secondo la quale la maggioranza delle situazioni in cui gli uomini si trovano abitualmente ad agire implicherebbe una grande quantità di informazioni, per via della variabilità dei contesti e anche per la specificità dei significati che questi assumono di volta in volta. Una larga parte di tale informazione sarebbe *implicita*, cioè assorbita inconsapevolmente attraverso l'esperienza, e quindi non esplicitabile dal soggetto in forme proposizionali. Ciò porterebbe le persone alla convinzione di disporre di conoscenze assai inferiori di quelle che in realtà possiedono.

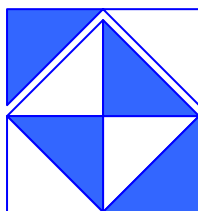
Si può tuttavia osservare che gli uomini riescono a cavarsela, sia pur con qualche incertezza, anche in situazioni nuove, supplendo a una carenza di informazioni con il ricorso alle facoltà creative.

Queste considerazioni sembrerebbero condurre a una conclusione ben definita: la richiesta di un numero incredibilmente alto di informazioni per affrontare le ordinarie situazioni in cui l'uomo si trova coinvolto, rappresenta soltanto un "surrogato computazionale" delle capacità creative.

Il computazionismo non riesce a concepire la difficoltà ad affrontare adeguatamente i problemi se non in termini di insufficienza di informazioni o di carenza nella dotazione software.

Le differenze qualitative dell'intelligenza umana rispetto a quella artificiale emergono con maggior evidenza se si considera che in certe occasioni, invece che applicare formule procedurali già pronte, è necessario *trovare* (o *inventare*) il "principio d'ordine" che caratterizza un certo gruppo di elementi. In generale, la capacità di risolvere problemi appare strettamente collegata con quella di stabilire nessi originali tra le cose, come pure di individuare contrasti o incompatibilità. Tutte queste attività appaiono considerevolmente lontane dai processi di elaborazione su cui si basano le ordinarie macchine computazionali, tanto più che la nostra mente, persino quando si applica a problemi squisitamente logico matematici, riesce spesso a trovare, per via intuitiva, delle "scorciatoie" che le permettono di giungere più rapidamente alla soluzione.

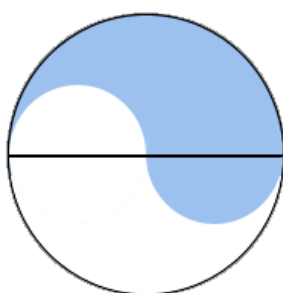
Prendiamo in esame il problema riferito alla figura sottostante, consistente nel determinare la frazione corrispondente alla parte colorata:



Dal punto di vista computazionale, la maniera più ovvia per giungere alla risposta consiste nel calcolare il rapporto tra la somma delle aree dei 4 triangolini colorati e l'area del quadrato rappresentato dall'intera figura. L'intelligenza umana è tuttavia in grado di giungere alla soluzione senza bisogno di fare calcoli: semplicemente rilevando che il quadrato è suddivisibile in 4 quadratini, in ciascuno dei quali la parte colorata rappresenta esattamente la metà. Il rapporto tra la parte colorata e l'intera figura, non può quindi che essere 1/2.

L'aver risolto il problema nella maniera abbreviata, può diventare un caso di riferimento da utilizzare in occasioni successive, che magari presentino solo una vaga somiglianza con quello di partenza.

Si voglia, per esempio, determinare l'area della superficie colorata nella figura sottostante, noto il raggio:



L'impresa può risultare alquanto laboriosa se non si osserva che la parte non colorata nel semicerchio superiore è esattamente uguale alla parte colorata del semicerchio inferiore. Per cui la soluzione è data dal calcolo della superficie di un singolo semicerchio.

Anche se i due problemi esposti sono notevolmente diversi tra loro, c'è da presumere che in molti casi la modalità di soluzione utilizzata nel primo possa essere trasferita, tramite un processo di generalizzazione, al secondo problema, permettendo così di abbreviare notevolmente il tempo impiegato per giungere alla soluzione.

La generalizzazione può anche agire per contrapposizione (ovvero su ragionamenti che pervengono a conclusioni opposte).

Supponiamo di dover scegliere la risposta corretta da dare al seguente quesito:

Una variazione da 90 a 95 rappresenta:

- a) un aumento superiore al 5%
- b) un aumento inferiore al 5%
- c) un aumento esattamente uguale al 5%

Da un punto di vista strettamente computazionale la soluzione si ottiene determinando l'entità dell'intervallo da 90 a 95 e ponendolo successivamente in rapporto con la base di partenza (90). Matematicamente, il calcolo della variazione assume la seguente forma:

$$(95 - 90) / 90 = 5/90$$

Valore che risulta maggiore dei 5/100 rappresentati dal 5%: la corretta risposta è quindi la a).

La mente umana può arrivare al risultato per una via diversa: osservando che l'intervallo da 90 a 95 è esattamente uguale a quel 5 richiamato nelle prime tre risposte suggerite. Verificandosi prima del 100, il valore di tale intervallo deve essere necessariamente maggiore del 5%.

Se qualcuno risolve il problema utilizzando questa seconda modalità, sarà in grado di pervenire alla soluzione, molto più rapidamente della prima volta, qualora gli si sottoponga il problema opposto:

Una variazione da 105 a 108 rappresenta:

- a) un aumento superiore al 3%
- b) un aumento inferiore al 3%
- c) un aumento esattamente uguale al 3%

Il ragionamento da seguire è esattamente inverso al precedente, ma l'analogia tra i due casi è talmente evidente da spingere ad adottare la stessa strategia senza esitazioni (qui la risposta corretta è la b)).

La capacità della mente umana di prendere "scorciatoie" per arrivare più rapidamente alle conclusioni è un aspetto che gli studiosi dell'intelligenza artificiale tengono solitamente in scarsissima considerazione. Tale scarsa attenzione è probabilmente da porre in relazione col fatto che la capacità di adottare "scorciatoie", assimilabile in senso lato alla "creatività", si presta assai poco a una formalizzazione, ossia ad essere ridotta a regole generali applicabili a tipologie definite di casi. Si tratta comunque di un aspetto importantissimo, che non si limita alla soluzione di problemi, ma che gioca un ruolo fondamentale in molte delle nostre ordinarie attività, in particolare nei processi di scelta e di decisione.

3. L'intelligenza umana e le reti neurali (il connessionismo)

Il modello tradizionale di macchina computazionale, già delineato con chiarezza da Turing, è capace di svolgere qualsiasi compito, purché questo sia riducibile completamente a una serie finita di operazioni elementari. Ciò significa che i compiti non scomponibili in maniera esaustiva nei termini della ristretta gamma di operazioni elementari che la macchina è in grado di effettuare non possono essere portati a termine. Questo rappresenta un grave limite per l'applicazione dell'intelligenza artificiale, perché non sempre, anzi solo in una minoranza di casi, sono note a priori tutte le informazioni relative allo svolgimento di uno specifico compito.

Un modello per certi versi alternativo rispetto al computazionismo classico, capace di ovviare alla carenza iniziale di informazioni, oppure di adattarsi in qualche misura al mutare della situazione di riferimento, è costituito dagli elaboratori elettronici basati sulle cosiddette *reti neurali*. Una delle principali caratteristiche distintive dei modelli che fanno uso di questo tipo di architettura funzionale è la loro capacità di modificare le risposte date in uscita tenendo conto, entro certi limiti, degli esiti dei precedenti tentativi. Si dice quindi che le reti neurali sono dotate della capacità di *apprendere dall'esperienza*. Questa caratteristica si contrappone nettamente alle modalità operative delle macchine computazionali tradizionali, le quali eseguono i compiti loro assegnati attenendosi rigidamente alle istruzioni che costituiscono il programma e che la macchina stessa non può modificare.

Le reti neurali mostrano la loro superiorità rispetto al computazionismo classico nel riconoscimento di oggetti complessi, di suoni e immagini, operando in maniera soddisfacente anche in presenza di insiemi incompleti di dati o di rumore di fondo. In tutto ciò presentano indubbiamente delle analogie con il modo con cui il nostro cervello svolge molte operazioni in maniera automatica e inconscia (mantenimento omeostatico di molte funzioni organiche

fondamentali, percezione, coordinamento senso-motorio). Anche in questo modello, tuttavia, non c'è un vero spazio per la novità autentica, l'invenzione, l'intuizione, la creazione. Le reti neurali non possono infatti spingersi oltre i limiti loro imposti dalla programmazione. E ciò è abbastanza ovvio, dal momento che il loro funzionamento si basa inevitabilmente su parametri e algoritmi assegnati, tant'è vero che esse possono agevolmente venir simulate sui normali elaboratori elettronici (3). Alcuni valori distribuiti nei diversi nodi che costituiscono la rete sono modificabili da appositi segnali di feedback, ma l'organizzazione della rete stessa, come pure i parametri che stabiliscono l'entità dei cambiamenti da apportare sono predeterminati.

Anche le reti neurali, in definitiva, benché per certi aspetti più plastiche delle ordinarie macchine computazionali, non possono pervenire ad autentiche scoperte o invenzioni - non hanno in sé alcuna capacità autenticamente innovativa - perché la loro attività è comunque confinata ai vincoli strutturali e agli algoritmi che regolano il funzionamento del sistema.

4. L'intelligenza e la logica fuzzy

La grande variabilità delle situazioni in cui un individuo umano si trova abitualmente ad agire rende la logica tradizionale, su cui si basa il funzionamento dei calcolatori, alquanto inadeguata. D'altra parte, se è vero che l'uomo tende costantemente a generalizzare, riconducendo il nuovo a fenomeni, situazioni, oggetti, forme e principi sperimentati o elaborati in passato, è vero pure che tale attitudine è caratterizzata, grossolanamente parlando, da una certa elasticità e approssimazione.

Dal tentativo di imitare in qualche modo questa capacità di adattare gli schemi di orientamento alla variabilità dei contesti ambientali, che non è caratteristica esclusiva dell'uomo ma di tutti gli esseri viventi, è nata una logica a maglie più larghe, meno rigida di quella formale, una logica *fuzzy*, come viene comunemente chiamata. Smussando gli angoli e sfumando i contorni, tale logica riesce ad adattarsi a un maggior numero di situazioni. Essa non sembra tuttavia in grado di risolvere il problema fondamentale che è quello del trasferimento degli schemi di valutazione già esistenti, derivanti da uno studio delle situazioni affrontate in passato, alle caratteristiche delle situazioni nuove. La capacità di adattamento rappresenta uno dei maggiori elementi di distinzione tra intelligenza umana e intelligenza artificiale, e può essere sintetizzata nell'attitudine a superare gli "spazi di indeterminazione", gli "intervalli logici", le differenze e piccole incongruenze che si presentano in quasi tutti gli ordinari processi di *generalizzazione*.

L'introduzione della logica fuzzy, rendendo più sfumati i contorni tra un dominio e l'altro, costituisce per certi versi un'operazione analoga all'introduzione di *leggi probabilistiche* quando ci si confronta con fenomeni complessi: un allentamento del rigore per compensare una nostra carenza conoscitiva.

La logica fuzzy solo apparentemente (e comunque in maniera del tutto marginale) imita il comportamento intelligente degli organismi viventi e, in particolare, quello degli esseri umani. La "logica" della generalizzazione effettuata a tutti i livelli dagli organismi viventi è legata strettamente alla prospettiva del soddisfacimento dei loro bisogni fondamentali. Non è astrattamente probabilistica, asettica, come la logica fuzzy, bensì viva, mutevole, creativa, "orientata" dall'esperienza corporea, nutrendosi quindi di consapevolezza. Non garantisce il successo, ma accresce notevolmente la possibilità di esiti positivi.

I principi che regolano la logica fuzzy sono stabili, essendo dati una volta per tutte; quelli su cui si basa la generalizzazione animale si modificano costantemente sotto la spinta dei bisogni e delle nuove esperienze per sfruttare al massimo la ricchezza e la variabilità dell'ambiente. Per questo motivo, la logica fuzzy, come tentativo di avvicinare l'intelligenza delle macchine all'intelligenza umana, può portare contributi alquanto limitati e comunque circoscritti ad ambiti

ristretti. Essa manca totalmente della capacità di mutare i suoi criteri di selezione in accordo con il “sentire” di un corpo. La consapevolezza le è estranea, come pure la creatività. E’ un altro dei tentativi, destinato ad abortire, posto in atto da parte di coloro i quali, sposando integralmente la tesi che vede nel cervello nient’altro che una sofisticatissima macchina per l’elaborazione dell’informazione, sono in qualche modo condannati a rimanere ciechi di fronte alle differenze che contraddistinguono i due ambiti.

5. L’intelligenza alla prova dei test

Una maniera interessante per mettere in risalto le differenze tra intelligenza umana e intelligenza artificiale è quella di prendere in esame i cosiddetti *test di intelligenza*, messi a punto per misurare il grado di capacità intellettive, generali o specifiche, possedute dagli individui umani, domandandosi con quali modalità e strategie operative una qualsiasi macchina computazionale potrebbe affrontare e superare tali test.

Prenderemo in considerazione in modo particolare quelle tipologie di test che richiedono, come primo passo, la ricerca di regole, di principi d’ordine, di leggi generali, di nessi tra figure, oppure l’individuazione (o l’*invenzione*) di classi a cui ricondurre un dato insieme di elementi. Tali attività, che costituiscono senza dubbio gli aspetti più caratteristici dell’intelligenza umana, si presentano in aperta opposizione al tradizionale modello computazionale: qui non si tratta infatti di utilizzare algoritmi di calcolo o procedure già esistenti, bensì di *trovarne* dei nuovi, con modalità che non possono essere stabilite una volta per tutte.

Non esistono criteri o procedimenti generali da utilizzare in forma esplicita come riferimenti di secondo livello, che permettano, a loro volta, di estrarre regole, principi ordinativi, o relazioni tra gli elementi appartenenti a un determinato insieme. Ma è esattamente questo che si richiede per il corretto svolgimento della maggior parte di questi test.

Vedremo anche altri tipi di test, come ad esempio quelli in cui bisogna completare una catena di rapporti, analoga per certi versi alle ordinarie proporzioni numeriche. Con la differenza, però, che la soluzione qui non può essere ottenuta applicando un procedimento generale, esplicitabile in forme definite, ma richiede un’analisi del *significato* o della *funzione* dei diversi elementi.

In nessun caso, possono darsi regole universalmente valide, capaci di condurre con certezza alla soluzione: quindi l’applicazione ad essi del modello della computazione tradizionale appare altamente problematica.

5.1. Test: completare una sequenza data

Immaginiamo di aver assegnate le successioni di numeri sotto riportate e di dover scrivere al posto del punto interrogativo, in coda a ciascuna successione, il numero appropriato:

- a) 5 8 11 14 17 ?
- b) 2 3 5 8 12 ?
- c) 3 5 9 17 33 ?
- d) 2 5 9 12 16 ?

Portare a buon fine queste prove, relativamente semplici, richiede innanzitutto l’individuazione della regola che lega ciascun numero di ogni sequenza al numero che lo precede. Osservando in dettaglio tali sequenze, vediamo che:

a) ciascun numero della sequenza è ottenuto aggiungendo 3 al precedente: il numero cercato è quindi $17 + 3 = 20$;

b) ciascun numero è ottenuto aggiungendo al precedente la differenza dei numeri che immediatamente lo precedono aumentata di 1: il numero cercato è $12 + (12-8) + 1 = 17$;

c) ogni numero è pari a 2 elevato alla potenza corrispondente all'ordine con cui esso compare nella sequenza, aumentato di 1, secondo la formula:

$$N_p = 2^p + 1$$

nella quale N_p è il numero cercato e P è il posto occupato nella sequenza data. Il numero cercato sarà quindi: $N_6 = 2^6 + 1 = 65$;

d) i diversi numeri della sequenza si ottengono aggiungendo alternativamente 3 e 4 al numero precedente: il numero cercato è quindi $16+3=19$.

Affinché un computer sia in grado di trovare la soluzione corretta per tali test, è necessario che esso venga fornito degli adeguati algoritmi che gli permettano di procedere per tentativi, applicando le diverse regole alle successioni di numeri date, ricercando quella che si adatta perfettamente alla specifica successione. Ciò significa che la gamma delle regole da applicare deve essere stabilita nella fase di programmazione del computer. Ma le sequenze possibili – come è facile rendersi conto - sono praticamente infinite. Un programmatore, armato di pazienza e buona volontà, potrebbe prevederne un numero anche molto grande, e in base a questo predisporre gli appropriati algoritmi di ricerca. Tuttavia, una volta terminato il suo lavoro, sarebbe sempre possibile immaginare qualche nuova regola su cui costruire nuove sequenze e quindi mettere il computer in difficoltà.

Per esempio, è abbastanza improbabile che al nostro programmatore possa venire in mente di inserire regole come quelle che caratterizzano le due sequenze che seguono:

- a) 7 5 3 10 8 6 13 11 9 7 ?
- b) 2 11 20 22 101 110 112 ?

Anche qui viene richiesto di trovare un numero da porre al posto del punto interrogativo (compito che ci obbliga a individuare la regola sottostante alle sequenze in esame). Ma il grado di difficoltà che incontriamo è ben maggiore rispetto a quello dei casi esaminati in precedenza. Per individuare la regola, o il “principio d'ordine”, occorre compiere un vero e proprio “balzo logico”, che nessun sistema di elaborazione artificiale sarà mai capace di effettuare in maniera autonoma... A meno che i relativi criteri per l'individuazione non siano stati preventivamente inseriti nei suoi sistemi di memoria. Nello specifico:

a) Si tratta di capire (e non è affatto un'impresa facile) che la successione data non è altro che la somma delle cifre dei numeri corrispondenti alla serie ordinata dei multipli di 7 (7; 1+4; 2+1; 2+8; ecc.). Il numero cercato è quindi: $7+7=14$.

b) Altro caso radicalmente diverso dai precedenti, trattandosi nientemeno che della serie ordinata dei multipli di 2, espressa però nel sistema di numerazione avente per base 3. Il numero cercato è 121.

Qualcuno potrebbe sollevare dubbi circa la capacità di un essere umano di venire a capo di quesiti come gli ultimi due proposti. Sicuramente la soluzione non è alla portata di tutti, ma sottoponendo i test a un nutrito gruppo di matematici è abbastanza ragionevole attendersi che

almeno qualcuno di essi riesca a trovare la soluzione in tempi ragionevoli. Per convincersi di questa possibilità, si faccia la seguente considerazione: trovare l'ordine nascosto nelle sequenze di numeri in questione è forse più impegnativo che pervenire alle tre leggi di Keplero partendo da una gran massa di dati osservativi che riguardano il movimento apparente dei pianeti (quelli messi a disposizione dall'astronomo Tycho Brahe)?

5.2. Test: ricerca dell'elemento estraneo

Una variante dei test precedenti è quella in cui si richiede di individuare un elemento estraneo all'interno di un insieme dato. L'insieme può essere costituito da numeri, parole o disegni più o meno elaborati: ogni raggruppamento si presta a essere ricondotto a una specifica *categoria* che, tuttavia, deve essere preventivamente individuata (e spesso *inventata*) prima di poter classificare uno degli elementi come *estraneo*. Alcuni tipi di reti neurali riescono a creare dei raggruppamenti, dato un certo numero di elementi ad esse sottoposti, ma lo fanno a livello distribuito, subsimbolico. Non sono in grado di rendere esplicite le caratteristiche delle categorie così costituite, così da renderle disponibili in forma algoritmica per successive operazioni.

Del resto, non esiste alcuna regola definita (e definibile in linea generale) per la riconduzione di elementi a categorie: sono infatti le caratteristiche del raggruppamento o, meglio, il *significato* attribuito agli elementi che lo compongono, a suggerire la sua appartenenza o meno a una data categoria. Il significato non è qualcosa di assoluto, che possa essere stabilito una volta per tutte, ma risulta strettamente legato al contesto in cui un dato elemento viene inserito.

Consideriamo, ad esempio, i gruppi sotto riportati, in cui bisogna individuare l'elemento che non appartiene all'insieme dato:

- a) 2, 6, 9, 8, 14
- b) L, Z, R, I, B
- c) Antilope, Lupo, Cervo, Elefante, Cacciatore
- d) Roccia, Lupo, Cervo, Elefante, Cacciatore

Discussione:

- a) Si tratta di un insieme di numeri pari, per cui l'elemento estraneo è 9.
- b) Insieme composto da consonanti; l'elemento estraneo non può essere che la vocale I.

Nelle due ultime serie abbiamo un chiaro esempio di come la classificazione possa cambiare al mutare anche di uno soltanto degli elementi dell'insieme.

in c) è facile concludere che si tratta di un insieme di animali, per cui l'elemento da escludere è senz'altro "Cacciatore". Ma basta sostituire "Antilope" con "Roccia" (lettera d) che subito muta l'intera prospettiva: ora il principio ordinatore dell'insieme è costituito dall'essere o meno dotati di vita, per cui l'elemento estraneo diventa "Roccia".

Un computer sarebbe capace di pervenire alle soluzioni indicate, ma soltanto se il suo programmatore lo avesse provvisto, in maniera *induttiva*, degli adeguati criteri per l'attribuzione degli elementi alle categorie che loro competono. Siccome è del tutto impossibile prevedere tutti i possibili raggruppamenti di oggetti, perché se ne possono inventare sempre di nuovi, esisteranno sempre casi in cui il computer non riuscirà a dare la risposta corretta.

In definitiva, la computazione è capace di restituire, anche se in forma variamente elaborata, soltanto ciò che era stato precedentemente immesso al suo interno. Per questo motivo, l'intelligenza artificiale non potrà mai portarsi al di là delle istruzioni che governano il suo funzionamento, non potrà mai essere autenticamente creativa

5.3. Test: relazioni tra più elementi

Completare i seguenti rapporti con il termine mancante, scegliendolo dall'elenco allegato:

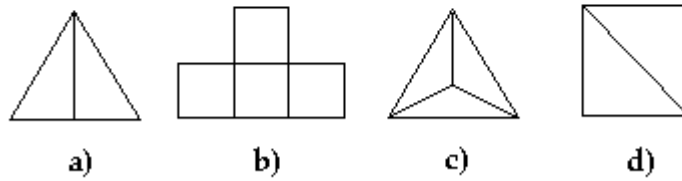
1) **Gregge** sta a **pecora** = ? sta a **mucca**

- a) mandria b) coppia c) stalla d) toro (2)

2) **Barca** sta a **remi** = **bicicletta** sta a ?

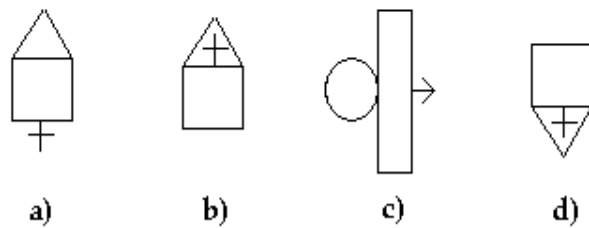
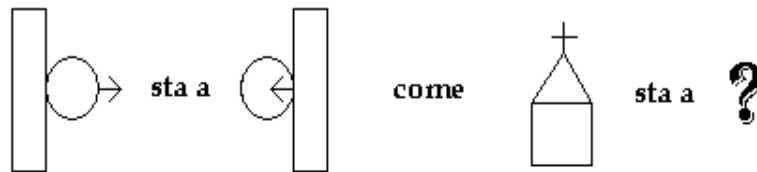
- a) freni b) mare c) pedali d) timone (3)

3)



(4)

4)



(5)

Per rispondere correttamente a tali test è necessario in primo luogo individuare il tipo di rapporto che lega tra loro gli elementi che li compongono. Rapporto che può riguardare - per citare solo alcuni esempi - il significato, la funzione, la forma o la collocazione spaziale degli elementi stessi. Si tratta, com'è facile rendersi conto, di principi estremamente eterogenei, che vengono colti dalla nostra mente in maniera prevalentemente intuitiva, in quanto non esiste alcun procedimento predefinibile (e quindi inscrivibile in una qualche formulazione di tipo algoritmico) che permetta di affrontare con successo l'incredibile varietà di test di questo genere che possono essere costruiti senza particolari difficoltà. D'altra parte, la necessità di rendere espliciti i criteri che legano tra loro i singoli elementi dei test, esclude pure che si possa pervenire alla soluzione con sistemi di tipo connessionistico, le cui capacità di rappresentazione - com'è noto - si esprimono a livello *subsimbolico*, essendo distribuite sotto forma di valori di trasferimento nelle diverse unità che costituiscono i sistemi stessi.

L'intelligenza umana, almeno per quanto riguarda la sua componente più elevata, sembrerebbe quindi potersi caratterizzare come la capacità di andare *oltre* l'ordine esistente: una capacità che permette di affrontare la componente di *novità* insita nelle diverse situazioni, reali o semplicemente immaginate. Essa si esprime attraverso uno sforzo di adattamento, di trasposizione, di individuazione di rapporti inediti tra gli oggetti, di ricerca di analogie e differenze, di classificazione, generalizzazione e discriminazione: sforzo che non può essere delimitato da procedure completamente formalizzate. Tale attività di elaborazione costituisce senz'altro uno degli aspetti più caratteristici dell'intelligenza umana (e, anche se in misura assai minore, di quella degli animali a noi vicini nella scala evolutiva), quello che la rende *qualitativamente* diversa dalla computazione, implicando il più delle volte la capacità di porsi *al di là* delle regole disponibili e, talvolta, persino una *violazione* delle regole stesse. Da questo punto di vista, si può senz'altro dire che l'intelligenza sia inscindibile da quella caratteristica tutta particolare rappresentata dalla *creatività* (che si manifesta spesso sotto forma di improvvise intuizioni), legata al superamento dei vincoli che impediscono a una situazione problematica di essere affrontata con gli schemi comportamentali disponibili a un dato istante.

6. Intelligenza, coscienza e comprensione

C'è tuttavia un altro aspetto dell'intelligenza umana, ingiustamente ignorato da coloro che tendono a identificarla con i paradigmi dell'intelligenza artificiale, ed è quello della stretta relazione che l'intelligenza mostra di avere con la coscienza. Ognuno di noi è in grado di svolgere, in maniera meccanica e senza impegnare l'attenzione cosciente, un gran numero di attività definibili come intelligenti. Si tratta per lo più di attività stereotipate, riconducibili a sequenze operative consolidate. Si pensi, per esempio, a molte delle nostre attività quotidiane che vengono svolte in maniera abitudinaria, automatica, in buona parte al di fuori della consapevolezza, come le operazioni relative alla cura personale quotidiana, al camminare lungo percorsi molto familiari, all'esecuzione di lavori manuali ripetitivi, relativamente semplici, ecc. Esse seguono schemi motori che, pur adattandosi, anche se in maniera ridotta, alle caratteristiche delle specifiche situazioni, non richiedono, in linea di massima, l'intervento dell'attenzione cosciente. E' presumibile che tali sequenze di azioni possano essere riprodotte in maniera più che soddisfacente per mezzo di sistemi computazionali basati su procedure completamente formalizzate.

Quando però ci imbattiamo in situazioni nuove, quando intervengono difficoltà impreviste che non si prestano ad essere affrontate con le strategie comportamentali abituali, ecco che la coscienza viene prepotentemente richiamata. Questa circostanza sembrerebbe indicare la possibilità che la coscienza sia in qualche modo connessa con l'attivarsi di strategie non completamente riconducibili a schemi di riferimento preesistenti. In altre parole, l'intervento della coscienza

semberebbe doversi porre in relazione all'incapacità dei meccanismi automatici, innati o appresi, di far fronte efficacemente a una data situazione. Si può dire che, in generale, l'intervento della coscienza viene a interrompere l'automatismo dell'azione, introducendo la *riflessione*, ossia un distacco ideale dalla necessità della situazione contingente. Nelle macchine, ogni stimolo confluisce nel processo globale di elaborazione, la cui risultante finale si esprime negli specifici risultati o comportamenti posti in atto. Non c'è *rappresentazione* del processo, non c'è riflessione sull'attività interna, perché non c'è null'altro se non il processo stesso.

La coscienza si presenta invece come "rappresentazione per il soggetto", sotto forma di esperienza personale, idealmente svincolata dagli schemi di risposta stereotipati che contraddistinguono i meccanismi automatici.

Una forma particolare con cui la coscienza interviene nei processi intelligenti è rappresentata dalla *comprensione*. La comprensione autentica è sempre consapevole, e consiste nel "far proprio", cognitivamente parlando, qualcosa che in precedenza ci era ignoto, o comunque si presentava estraneo rispetto al sistema delle nostre conoscenze. In generale, la comprensione agisce riportando nuovi elementi agli schemi di orientamento nel mondo di cui disponiamo, oppure a situazioni o eventi di cui abbiamo avuto diretta esperienza in passato. Ciò è da intendere in senso molto ampio: infatti, si può comprendere una spiegazione, cogliendone i nessi che essa stabilisce tra i diversi elementi presi in considerazione; si può comprendere un testo o semplicemente una parola, afferrandone il significato posto al di là dei suoni o dei segni che lo veicolano; si può comprendere una situazione, individuandone i fattori rilevanti implicati e i suoi possibili sviluppi; si può comprendere lo stato d'animo di una persona in una determinata circostanza, richiamando alla mente la nostra esperienza vissuta in circostanze analoghe, ecc.

In ogni caso, la comprensione non si riduce mai a una meccanica riconduzione dei nuovi elementi a elementi già esistenti. Ogni comprensione è, per certi aspetti, un atto creativo, nel senso che comporta una modificazione del nuovo elemento per adattarlo alle caratteristiche del sistema di riferimento che lo accoglie, ma anche una ristrutturazione più o meno pronunciata dello stesso sistema, che deve ripristinare la coerenza tra le parti che lo costituiscono.

La considerazione che ogni comprensione si attui consapevolmente viene in qualche modo a confermare l'idea che la coscienza sia richiesta in corrispondenza di quelle situazioni che non si prestano ad essere affrontate sulla base schemi di valutazione od operativi preesistenti.

In definitiva, l'intelligenza umana, qualora venga esaminata nei suoi diversi aspetti e manifestazioni senza filtri preconetti, si presenta come una facoltà assai più complessa e variegata di quanto le scienze dell'informazione e la stessa psicologia cognitiva tendono a presentarci. Le capacità di elaborazione tipiche dei sistemi computazionali, sostanzialmente sovrapponibili alle capacità logico-matematiche dell'uomo, si rivelano essere, in definitiva, *soltanto un aspetto*, un aspetto indubbiamente importante, anzi indispensabile, dell'intelligenza umana. Ma non certo l'unico, a cui ogni altra componente possa essere ricondotta senza residui.

La creatività, vista come proprietà mentale orientata alla produzione di nuovo ordine, nuove relazioni, nuovi significati, non può essere spiegata all'interno di detta prospettiva. E così dicasi per la coscienza e la capacità di comprensione, che sono, letteralmente "altra cosa", categorialmente parlando, rispetto all'attitudine a elaborare dati o effettuare confronti tra elementi omogenei. Non esiste infatti alcun insieme di passi in grado di permettere, in base alla semplice esecuzione di operazioni computazionali più o meno complesse, la transizione da un sistema di simboli a un altro sistema simbolico caratterizzato da un maggior contenuto informativo (creatività), o di trasformare l'elaborazione stessa in esperienza cosciente, vissuta da una specifica individualità.

Queste considerazioni, sia pur non approfondite nei diversi risvolti e anzi circoscritte ad aspetti parziali, non offrono spunti sufficienti che possano fungere da orientamento per la

costruzione di un nuovo modello esplicativo dell'intelligenza. Più modestamente, esse si propongono di mettere in risalto alcuni dei limiti più vistosi delle concezioni che tendono ad assimilare completamente l'intelligenza umana all'intelligenza artificiale, minimizzando i limiti mostrati da quest'ultima e giustificandoli interamente con una insufficiente complessità dei sistemi hardware e software oggi disponibili. In realtà – come ho tentato di mostrare da varie angolazioni – non si tratta affatto di una questione quantitativa, che possa essere superata semplicemente rendendo più veloci i nostri elaboratori e/o dotandoli di programmi più sofisticati. Si tratta invece di una diversità *qualitativa* che non si presta ad essere colmata aumentando il numero delle routine che costituiscono il programma stesso, così che questo arrivi a coprire uno spettro assai più ampio di possibilità. Avremmo a che fare, sempre e comunque, con una elaborazioni di informazioni, condotta sulla base di istruzioni preconfezionate, ossia della trasformazione di insieme di simboli in altri insiemi di simboli.

NOTE

(1) Cfr. Heinz von Foerster, *Sistemi che osservano*, Astrolabio, Roma, 1987, pag. 130: «Definirò “domanda illegittima” quella domanda di cui si conosca già la risposta. Non sarebbe affascinante immaginare un sistema di istruzione che chieda agli studenti di rispondere solo a “domande legittime”, cioè domande le cui risposte siano ignote? Non sarebbe ancora più affascinante immaginare una società disposta a creare un simile sistema di istruzione?».

(2) La risposta corretta è la a).

(3) La risposta corretta è la c).

(4) La risposta corretta è la c).

(5) La risposta corretta è la d).