



**MaCSIS**

Università degli Studi di Milano-Bicocca

Centro Interuniversitario MaCSIS

## **MaCSIS Working Paper Series**

**INTELLIGENZA ARTIFICIALE, IERI, OGGI E DOMANI**

Ludovico Ristori

**Working Paper n.1/2013**

Università degli Studi Milano-Bicocca  
MACSIS – Master in Comunicazione della Scienza e Innovazione Sostenibile  
Anno Accademico 2012-2013

# Intelligenza Artificiale, ieri oggi e domani

Autore  
Ludovico Ristori

Relatore  
Dott. Pietro Greco

## Indice

1.	Introduzione	3
2.	Storia delle teorie sulla mente	3
3.	L' Intelligenza Artificiale prima di Dartmouth	6
4.	L' Intelligenza Artificiale da Dartmouth a oggi	10
5.	Il Progetto SPAUN	20
5.1.	Generalità	20
5.2.	Come funziona	21
5.3.	Test Drive	25
6.	Conclusioni	29
7.	Bibliografia e Riferimenti	31
7.1.	Pubblicazioni Cartacee	31
7.2.	Materiale in Rete	31
7.3.	Credits Immagini e Nota Conclusiva	33

# 1. Introduzione

L'intelligenza artificiale (IA in italiano o AI, Artificial Intelligence, in inglese) rappresenta uno dei progetti più ambiziosi mai tentati dall'uomo. Nei suoi ormai 50 anni di storia è diventata una corrente di pensiero importante non solo per l'ambito informatico ma anche per economia, meteorologia, medicina, scienze sociali nonché per arte, società e cultura pop.

In questo lavoro cercheremo di fornire una panoramica abbastanza completa sull'IA: quali possono essere considerati i suoi presupposti (paragrafi 2 e 3) e che tipo di evoluzione ha seguito. Che differenza c'è fra le sue due accezioni debole e forte e perché quest'ultima è criticata dalla maggior parte dei ricercatori pur contando comunque seguaci estremamente agguerriti che sconfinano dal mondo della scienza a quello della futurologia (paragrafo 4).

Come stanno realmente le cose? Cercheremo, di dare quanti più elementi possibili al lettore, tentando di non banalizzare l'aspetto scientifico ma di non trascurare nemmeno tutto quanto, dal punto di vista sociale, culturale e antropologico l'IA ha rappresentato.

La tesi si concluderà con una breve rassegna su un caso concreto di progetto di WBE (Whole Brain Emulation), denominato SPAUN (Semantic Pointer Architecture Unified Network) e coordinato dalla University of Waterloo (Canada) la cui peculiarità è la componente *open*: è possibile scaricare l'emulatore sul proprio PC e sviluppare in autonomia modelli di elaborazioni svolte dal cervello umano come il riconoscimento di simboli, stimoli motori e via dicendo. Lo proveremo, cercando di valutare anche quanto sia concretamente possibile, per una persona di competenze comuni, immergersi in un mondo tanto complesso quanto affascinante.

## 2. Storia delle teorie sulla mente<sup>1</sup>

L'uomo non è stato sempre consapevole di avere una mente, ossia un insieme di funzioni cerebrali definite superiori, in contrapposizione a quelle di base regolanti i muscoli involontari e la reazione agli stimoli esterni quali dolore, piacere, fame, caldo, freddo.

---

<sup>1</sup> Il materiale contenuto in questo paragrafo e nel successivo è stato pubblicato con differenze minime su Scienza In Rete, URL: <http://www.scienzainrete.it/contenuto/articolo/ludovico-ristori/lintelligenza-artificiale-prima-di-dartmouth/maggio-2013>

Si può anzi dire che nel momento in cui ha cominciato a chiedersi “perché sto pensando proprio questo”, oppure “chi sono”, “come faccio a conoscere” è nata la società come oggi la conosciamo.

E' molto difficile dire chi per primo si è posto questi interrogativi. Di sicuro li affrontò **Platone** nel 400 a.C. circa. Uno dei fondamenti del suo pensiero erano le idee, aventi la duplice natura di realtà ontologica (quello che esiste realmente) e fondamento gnoseologico (quello che ci consente di conoscere). La mente era, per il discepolo di Socrate, il tramite fra il mondo terreno e l'*iperuranio* e il processo cognitivo funzionava per associazione di un simulacro imperfetto, sensoriale, con la corrispondente idea. La mente era, dunque, una sostanza perfetta ed eterna che aveva sede nel cervello ma era fuori da questo, con un'impostazione successivamente definita dualistica. Uno era il problema di fondo: se mente e corpo vivevano addirittura su due mondi distinti come avrebbero fatto a comunicare?

Circa negli stessi anni un'altra teoria sulla mente si sviluppava arrivando a conclusioni completamente opposte: quella di **Democrito**. Per lui tutto era materia, costituita da aggregati di atomi in perenne movimento casuale e non era possibile ipotizzare qualcosa di trascendente interno all'uomo. La mente era, quindi, il “semplice” risultato del movimento degli atomi ed era l'organo celebrale la cosa veramente importante. Si apriva, quindi, la corrente di pensiero denominata determinismo il cui argomento centrale può essere così riassunto: siccome il pensiero è il risultato del funzionamento di un organo che segue leggi naturali deterministiche anch'esso sarà deterministico, ovvero a un certo set di stimoli reagirà sempre nello stesso modo. Un'idea che influenzerà molto chi, in seguito, punterà a un modello algoritmico delle funzioni mentali ma che è stata abbastanza messa in crisi da diversi esperimenti di neuroscienze contemporanei.

Anche **Aristotele** (382 a.C.-322 a.C.) si domandò cosa fosse la mente e si rispose rinunciando al dualismo platonico e ipotizzando un'origine non trascendente. Questa posizione aveva caratteristiche più coerenti con le attuali evidenze sperimentali sulle interazioni mente-corpo ma anch'essa non permetteva di chiudere il cerchio. Aristotele, infatti, per risolvere l'aporia di un mondo materiale dominato dalle leggi di natura e di un uomo che immaginava libero (quanto di fare del bene che del male) fu costretto ipotizzare una mente di origine fisica sì, ma con “proprie specificità”, con tutta l'ambiguità e le contraddizioni che da ciò derivavano.

Svariati secoli più tardi **Cartesio** (1596-1650) ripartì dal dualismo platonico ricavandone una posizione ancor oggi diffusa in ambito di comunità scientifica. Il

dualismo mente/corpo qui era impostato come contrapposizione fra *res cogitans* e *res extensa*. Era proprio la diversa natura della mente rispetto al mondo fisico che le permetteva di essere libera in un universo rigidamente meccanicista. Un'interpretazione che, comunque, ha attirato su di sé svariate critiche proprio per il suo *errore* di fondo: sottrarre all'ambito scientifico ciò che più di ogni altra cosa serviva per costruire tale ambito: il pensiero razionale.

Fra le posizioni paradigmatiche è utile includere anche quella di **Spinoza** (1632-1677) che all'opposto ripartiva dal filone democriteo. Per il filosofo olandese la mente era di nuovo il mero risultato dei processi fisici cerebrali. Il problema di questa visione era che, essendo considerato il mondo, nel momento del trionfo della meccanica newtoniana, rigidamente deterministico tale doveva essere anche il funzionamento della mente. Il libero arbitrio per Spinoza, quindi, non esisteva e l'unica libertà possibile era quella di conoscere la propria ... non libertà. Anche qui un modo per cercare di far quadrare le cose in parte arrampicandosi sugli specchi.

Questa breve rassegna sulla mente può essere conclusa con una posizione di carattere meno metafisico delle precedenti anche se ancora lontana dall'essere una teoria scientifica della mente: quella del Premio Nobel americano **Gerald Edelman**, sviluppata negli anni '90. L'idea è che il cervello ha sì dei costituenti elementari (neuroni e gruppi di neuroni) regolati da leggi fisiche deterministiche, essendo però la mente una *proprietà emergente* e, come tale, a queste solo parzialmente sottoposta: un po' come il colore per i materiali, caratteristico di atomi o molecole ma non delle loro parti costituenti (protoni, neutroni, elettroni). Un approccio che risultava ragionevole per molti aspetti anche se non spiegava il perché dell'insorgere di una proprietà tanto importante.

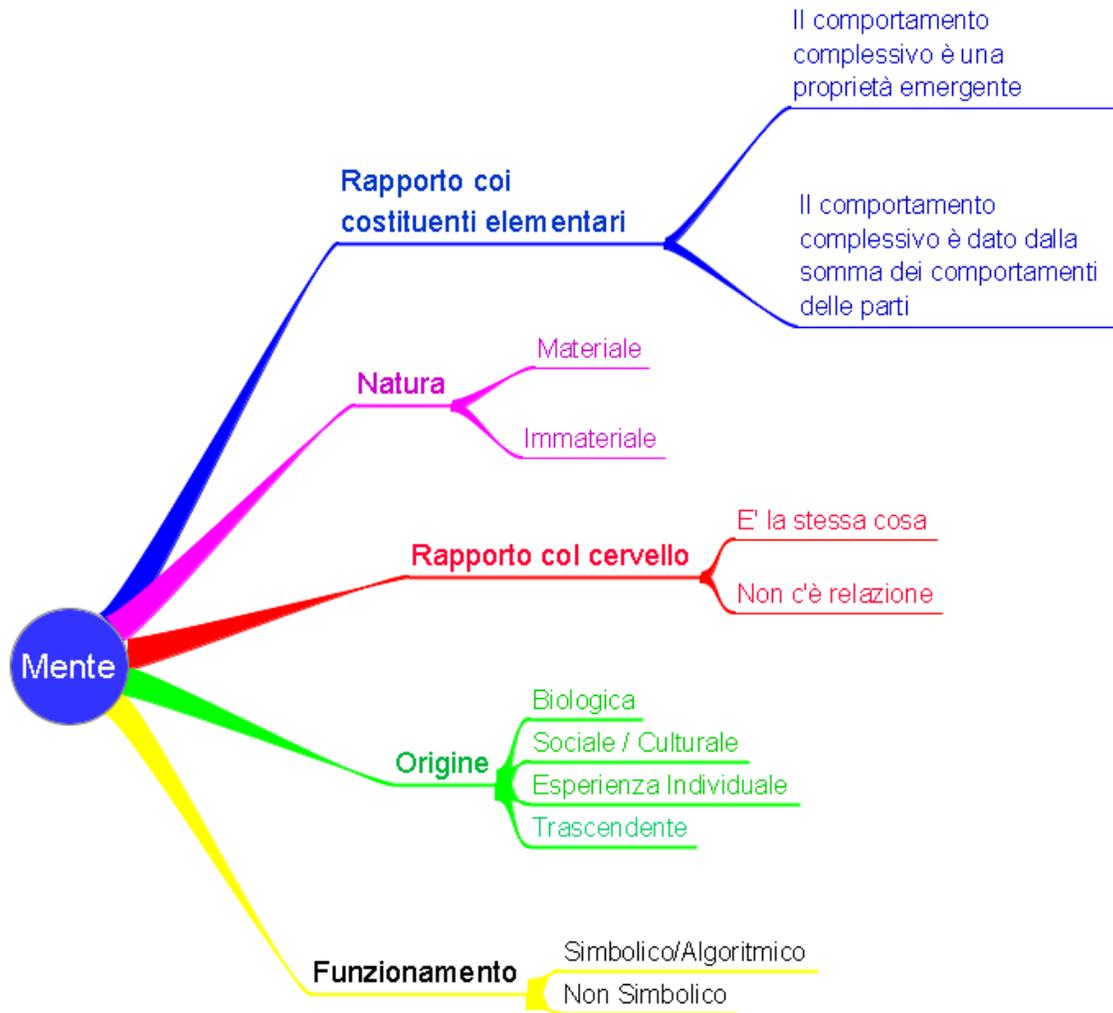


Figura 1 – Mappa concettuale con le principali modellizzazioni e dicotomie apparse nelle varie teorie storiche della mente.

### 3. L'Intelligenza Artificiale prima di Dartmouth

Abbiamo visto finora alcune delle principali teorie sulla mente con cui l'uomo ha cercato di guardare all'interno del proprio pensiero.

Dalla comprensione del funzionamento di un oggetto al tentativo di replica il passo è spesso breve (si pensi, anche senza voler far troppi voli pindarici alle pratiche di *reverse engineering* tipiche del settore IT e dell'automazione industriale).

Qui ovviamente le cose hanno richiesto un po' più tempo ma il modello concettuale è il medesimo: si è arrivati all'idea di voler produrre delle macchine pensanti (vedi paragrafo 4) dopo aver sviluppato delle teorie – anche non scientifiche o semi-

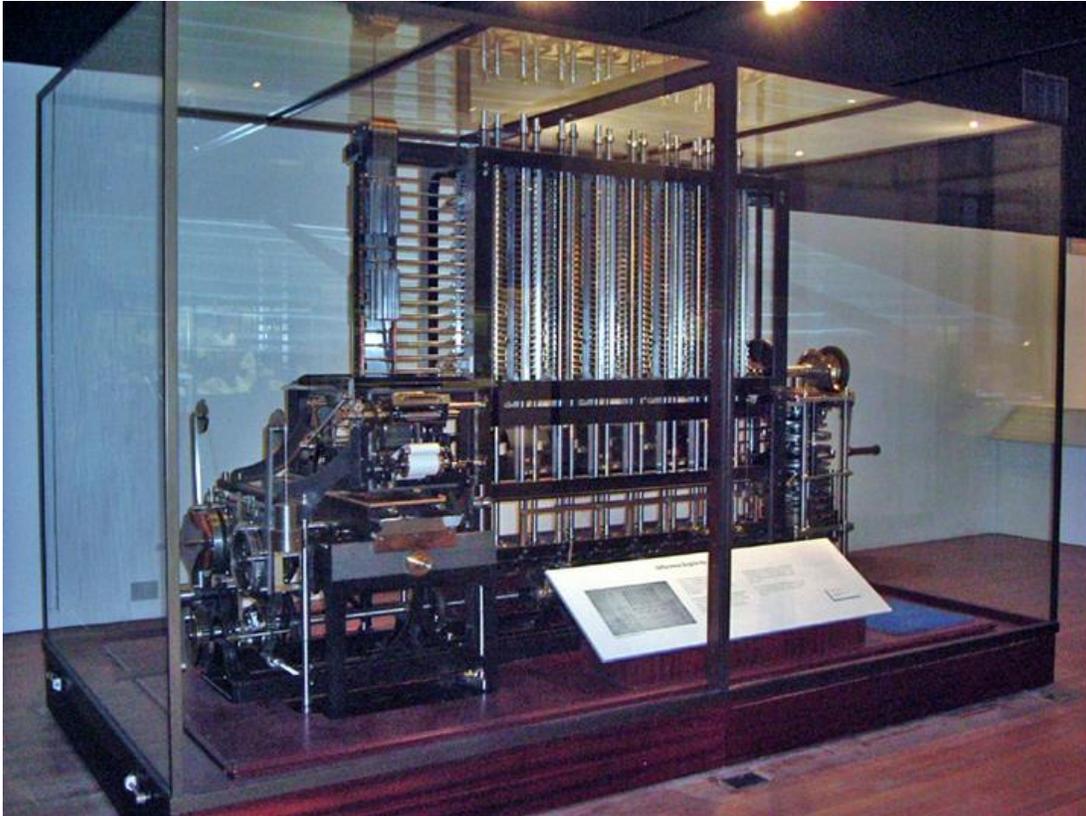
scientifiche – della mente e una generazione di artefatti che hanno tentato di riprodurre, pur con tutte le loro limitazioni, alcune funzioni mentali, prima fra tutte quella del calcolo.



*Figura 2 – Un esempio di Pascalina.*

L'uomo ha da sempre cercato degli utensili (prima) o degli strumenti (poi) che lo aiutassero nel combattimento o nei lavori più pesanti. Dalla clava alle macchine di Leonardo, la storia antica è piena di macchine molto ingegnose concepite per questi scopi.

Il primo a pensare a macchine utili per qualcosa di completamente diverso fu il matematico francese **Blaise Pascal** (1623-1662) che costruì circa 50 esemplari di calcolatrici dette "Pascaline", basate su serie di ruote dentate interconnesse. Egli, peraltro, non pensò mai a niente che potesse andare oltre. Probabilmente, comunque, sarebbe stato scettico di fronte a tale ipotesi anche per il suo celebre dualismo fra *esprit de géométrie* (razionalità, per così dire semplice, alla base delle scienze) ed *esprit de finesse* (capacità di intuire il trascendente e di afferrare il senso delle cose). Con il secondo prerogativa esclusiva dell'uomo come insieme unico di un corpo e di un'anima ("Il cuore ha le sue ragioni, che la ragione non conosce" diceva) e irraggiungibile, dunque, da un artefatto.



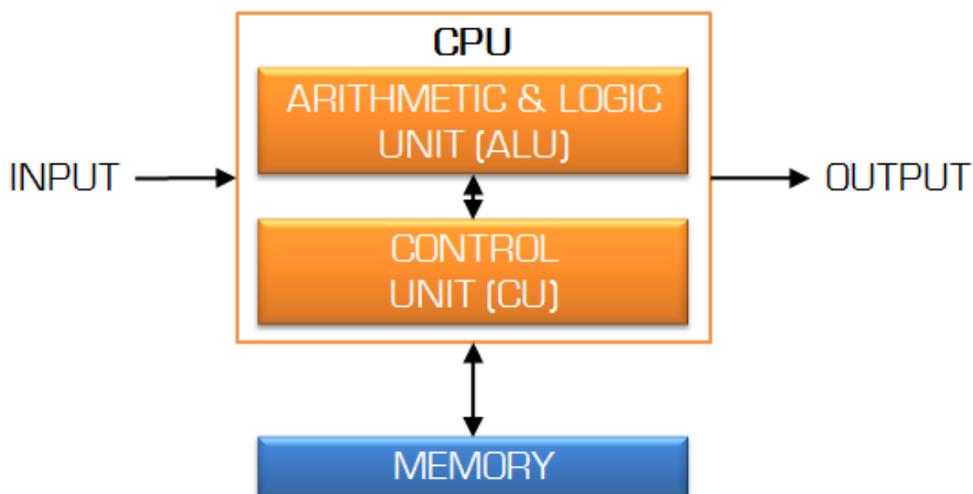
*Figura 3 – Una delle macchine differenziali di C. Babbage*

Una macchina decisamente più performante per eseguire calcoli fu quella inventata da **Charles Babbage** (1791-1881), in grado di realizzare tabulati di funzioni polinomiali. Anche in questo caso il meccanismo fondamentale era costituito da ruote che giravano e propagavano i loro valori a ruote successive. La sua importanza fu duplice: da un lato costituiva un ulteriore avvicinamento alle logiche e alle architetture dell'informatica moderna (propagazione dei riporti, rappresentazione dei numeri negativi tramite complementi, ragionamento algoritmico e così via). Dall'altro fu inventata con il preciso scopo di ottenere migliori risultati di quelli umani, ipotizzando, quindi, che, quantomeno per un compito preciso, una macchina potesse esser migliore dell'uomo. Babbage tentò di costruire anche macchine analitiche ancora più complesse, capaci di manipolare simboli e funzionare sulla base di comandi codificati in schede perforate.

Il tentativo non fu coronato da successo ma dimostrava che il clima in cui **Gottfried Leibniz** (1646-1716) pensò all'*ars combinatoria* (linguaggio e pensiero come calcoli) era prossimo a determinare un ulteriore salto di paradigma. La figura del matematico e filosofo tedesco in termini di IA, poi, è importante anche perché, attraverso la sua rappresentazione del pensiero, pose sul banco l'idea che delle macchine potessero avere degli stati cognitivi propri.

Il percorso può essere concluso con due scienziati quasi unanimemente considerati i padri della moderna informatica: **Alan Turing** (1912-1954) e **John von Neumann** (1903-1957). Il primo è conosciuto principalmente per i risultati raggiunti in termini di computabilità e per il risultato secondo cui, se un problema è codificabile con un algoritmo, allora esiste un'apposita macchina (detta appunto di Turing, MDT) in grado di risolverlo. La MDT risultava ai tempi in cui fu introdotta un puro esperimento concettuale ma conteneva tutti gli elementi più significativi dei computer moderni: input, output, elaborazione interna sequenziale e così via. Turing pensava a tali macchine come a degli "impiegati diligenti", capaci di svolgere il loro lavoro meccanicamente senza sbavature ma anche senza particolari voli pindarici. Il matematico inglese fu anche il primo a pensare esplicitamente all'eventualità che queste macchine potessero un giorno pensare. Elaborò, infatti, il famoso test che porta il suo nome e che costituisce a tutt'oggi uno dei riferimenti fondamentali della moderna Intelligenza Artificiale. Secondo questo una macchina che riusciva a "ingannare" un uomo riguardo alla sua natura umana poteva essere definita intelligente. Visione che apriva la strada a tutto il futuro filone della IA debole.

Il contributo di von Neumann viene ricordato principalmente a proposito dell'architettura dei moderni computer che ha, ancor oggi, molto di quanto prospettato dal matematico americano (ungherese di nascita).



*Figura 4 – L'architettura di von Neumann*

Una cosa, però, è ancor più importante in termini di IA: egli fu il primo a pensare a programmi che potessero autonomamente duplicarsi, esattamente come succede agli organismi viventi più semplici (cellule, batteri). Questo non assegna a von Neumann solo il titolo di padre dei moderni virus informatici ma anche dell'idea di macchine che

ipoteticamente potrebbero, a un certo punto, chiamato oggi da qualcuno [6] “di singolarità”, cominciare a determinare da sole il loro sviluppo.

## 4. L'Intelligenza Artificiale da Dartmouth a oggi<sup>2</sup>

Abbiamo finora passato in rassegna molti eventi e personaggi che possono essere considerati dei suoi presupposti ma la nascita dell'Intelligenza Artificiale viene sempre associata ad un luogo e a una data ben precisi: 1956, località Dartmouth, New Hampshire (USA).

Qui venne svolto un seminario estremamente particolare, convocato dal matematico americano John McCarthy. Vi parteciparono scienziati come Claude Shannon e Marvin Minsky, Herbert Simon, economista e futuro premio Nobel, informatici come Allen Newell e altri. L'atmosfera era piena di promesse per la nascente disciplina e tutto sembrava che, di lì a pochi anni, l'obiettivo principale che era stato dichiarato (in sostanza la realizzazione di una macchina pensante) sarebbe stato raggiunto.

Le cose, in pratica, non sono andate esattamente secondo le previsioni. Dal 1956 a oggi si è sviluppato un percorso complesso che andremo qui di seguito a ripercorrere.

Gli anni dal 1956 alla metà degli anni '60 (convenzionalmente al 1966 quando il governo federale degli Stati Uniti tagliò i fondi per l'IA, giudicando i risultati prodotti fino allora sostanzialmente deludenti [1]) possono essere associati a un **primo periodo**. L'attenzione qui si concentrò su implementazioni software tipo *parser* per la manipolazione di stringhe (ossia sequenze di simboli). I principali risultati ottenuti furono nell'ambito della risoluzione automatica dei problemi matematici; va citato il software “Logic Theorist” di Herbert Simon e Allen Newell, capace di risolvere la maggior parte dei teoremi presenti nei “Principia Mathematica” di Whitehead e Russell. I principali insuccessi, invece, arrivarono dall'ambito della comprensione dei linguaggi naturali. Ciò nonostante, risultati degni di nota furono raggiunti dal programma psicologo ELIZA di Joseph Weizenbaum e dal software SHRDLU sviluppato da Terry Winograd.

---

<sup>2</sup> Il materiale di questo paragrafo è stato pubblicato con minime variazioni sul sito Digicult, uno dei punti di riferimento italiani in materia di arte e IT, URL: <http://www.digicult.it/it/news/from-the-birth-of-artificial-intelligence-to-the-human-brain-project/>

<u>A</u>	<u>OPER</u>	<u>L</u>	<u>C</u>	<u>R</u>	<u>B</u>	<u>Seg.</u>	
	<u>Ex</u>						<u>Executive routine</u>
	(Read problem X)					R	
	(Put EM(X) in l)						
	-MSb	1		G		MSb	
A	-MDt	1		G		MDt	
	-MCh	1		G		MCh	
	SEN	1	Q				X(1) is finished.
	CWG			H		CW	
B	FEP	P	1	H		CK	Find problem with lowest K.
	NK	1					
C	-FEN	P	2	D			
	NK	2					
	CKG	2	1	C			
	PE	2	1				
	PK	2	1				
	B			C			
D	E	1	P			CX	Remove duplicates of previous problems.
	FEP	Q	3	F			
E	CX	1	3	B			
	FEN	Q	3	E			
F	B			A			
G	(Write proof.)					WP	Succeeds in proving P.
	(X(1) a theorem)					ST	
	(Stop)						
H	(Write: no proof)					WNP	Fails to find proof.
	(Stop)						

Figura 5 – Prime righe del listato di Logic Theorist. Notare la sintassi tipo assembler del linguaggio utilizzato (IPL) che costituirà la base per il successivo sviluppo del LISP.

Dalle ceneri del primo approccio nacque subito una **seconda onda**, quella dei sistemi esperti. Si trattava anche qui di software ma il concetto di base era decisamente innovativo: superare l'idea per cui il programmatore dovesse codificare in modo esplicito tutte le possibili strategie risolutive. Per far ciò, ad immagine di quanto avveniva con gli esperti umani delle varie materie (delle quali conoscono un buon numero di regole ma anche degli adeguati schemi cognitivi per effettuare le estrapolazioni) i nuovi software vennero dotati di due componenti fondamentali. Da un lato delle regole, codificate nella forma di proposizioni IF THEN ELSE o alberi di decisione ("basi di conoscenza"). Dall'altro dei "motori inferenziali", meccanismi che sulla base degli INPUT navigavano dette "basi" producendo soluzioni (OUTPUT) derivanti da flussi elaborativi non esplicitamente presenti nel codice. Erano gli anni in cui, come evoluzione del LISP (ideato da McCarthy in persona), nasceva un nuovo linguaggio orientato all'IA, il PROLOG, che permetteva maggiore semplicità nell'utilizzo di elaborazioni come la *ricorsione* e il *backtracking*. Nomi di sistemi esperti che hanno fatto la storia possono essere Mycin, Molgen e Teiresias. Le applicazioni possibili potevano andare dall'analisi di sistemi rumorosi (diagnosi, interpretazione dati), dalla previsione, pianificazione e schedulazione (es. nel settore *manufacturing* ma non solo) alla progettazione automatica (macchine per progettare altre macchine).

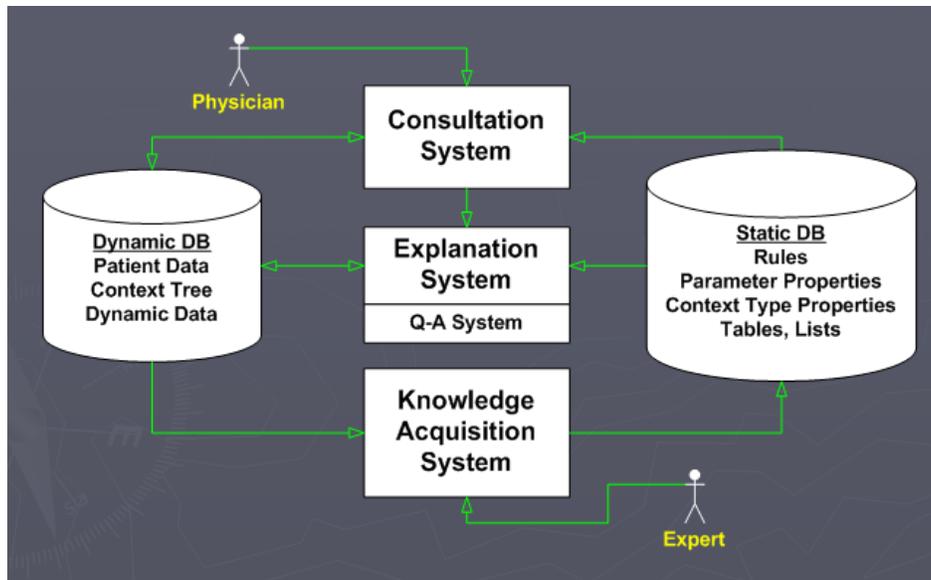


Figura 6 – Architettura di MYCIN, sistema esperto per la diagnosi delle infezioni. Notare la presenza di due database: uno statico fondamentale di regole, derivante dai consigli medici di esperti e uno dinamico di dati per la gestione delle interviste dei medici curanti.

I sistemi esperti risultavano efficienti in diversi ambiti ma fu successivamente chiaro che la loro natura puramente computazionale (non associativa) poteva essere un limite insuperabile per ulteriori progressi.

In primo luogo, infatti, ciò che chiamiamo intelligenza non corrisponde solo a delle abilità nel calcolo: gli esseri umani, in altre parole, si dimostrano intelligenti non solo risolvendo equazioni e problemi matematico-ingegneristici ma anche, ad esempio, imparando lingue, muovendosi e riconoscendo forme e colori.

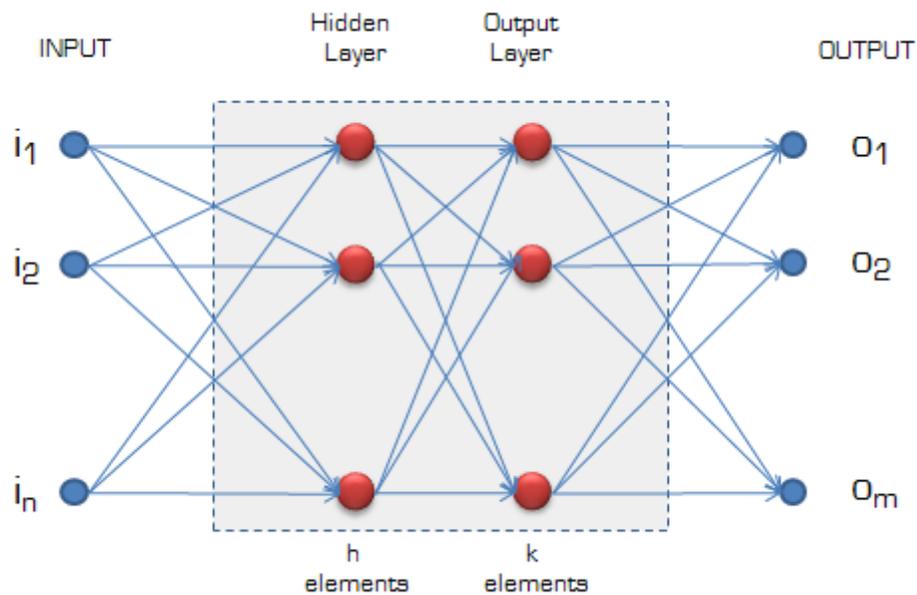
In secondo luogo qualcosa in più cominciava ad emergere sul funzionamento fisico dell'organo celebrale: un aspetto che non era stato minimamente considerato nel modello teorico, puramente funzionale, dei sistemi esperti. Si era capito, in particolare, che il cervello elaborava dei segnali elettrici e che questi si propagavano in una rete costituita da circa  $10^{11}$  neuroni per l'uomo, costituendo ciascuno di essi un'unità di elaborazione elementare.

I neuroni, poi, risultavano connessi gli uni agli altri (ma non tutti con tutti) in modo più o meno forte, con linee di trasmissione biologiche (assoni) e punti di interfaccia (sinapsi), più o meno "aperti" al passaggio di segnale, con tale grado di apertura influenzato dall'esperienza dell'individuo. Ancora: era stato mostrato che i neuroni avevano la

proprietà di attivarsi elettricamente a seconda dei segnali ricevuti in ingresso e che tale stato di eccitazione si propagava verso i “vicini” direttamente collegati.

Nel tentativo di includere tutto questo in un modello [2] venne l’idea secondo cui i dati sensoriali potevano essere associati all’INPUT complessivo del sistema cerebrale, mentre i comandi trasmessi agli organi attuatori potevano essere associati a degli OUTPUT (vettori n-dimensionali di segnali elettrici).

Il passaggio da queste considerazioni a delle realizzazioni software fu, dunque, molto breve e tali programmi furono chiamati Reti Neurali Artificiali (Artificial Neural Networks o ANN in inglese).



*Figura 7 – Schema a blocchi di rete neurale artificiale, con uno strato intermedio o nascosto (“hidden”). Ogni simbolo in rosso rappresenta un neurone con i relativi ingressi e uscite. In corrispondenza di ciascun ramo è definito un peso sinaptico.*

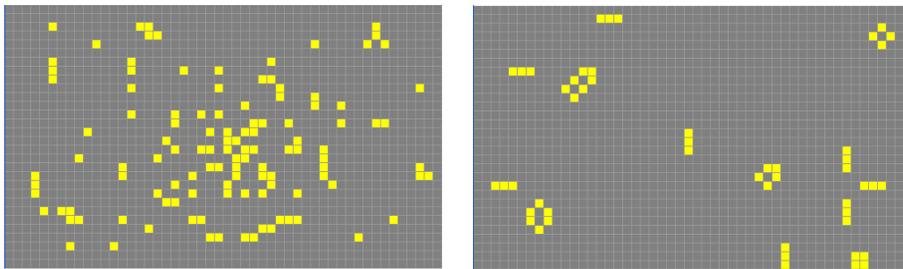
Un'altra riflessione influenzò, inoltre, il panorama dell'IA di quegli anni: quella sugli degli algoritmi genetici.

Perché “genetici”? Il concetto di selezione naturale, come sviluppo delle osservazioni di Charles Darwin era, da tempo, una teoria ben nota la cui idea di fondo è semplice: da una popolazione iniziale e da un insieme di regole di evoluzione con impatto su proprietà osservabili possono innescarsi dei meccanismi di selezione per cui certi individui con certe caratteristiche diventano prevalenti all’interno di una specie. C’è in

questa selezione una qualche intelligenza? In parte sì, perché chi rimane dopo svariate generazioni è mediamente più adatto dei predecessori a vivere nel suo ambiente.

Anche qui il passaggio biologia-informatica fu relativamente semplice: se invece di parlare di geni si parlava di variabili che influenzavano le proprietà di *oggetti* (nel senso informatico) e l'evoluzione si intendeva come trasformazione di un *pattern* iniziale di proprietà in uno finale, ecco gli algoritmi in questione.

Una rappresentazione grafica per far intuire il funzionamento di questi algoritmi può essere data da una coppia di *screenshot* del famoso "Gioco della Vita" di John Conway.



*Figura 8 – Un esempio di configurazione iniziale di equilibrio nel "Gioco della Vita" ottenute col software open source sviluppato da Edwin Martin.*

Fra le grosse novità di quegli anni un posto sicuramente spetta anche ad un ultimo titolo: il pensiero fuzzy, con il termine che può essere tradotto con "sfocato", "sfumato" o aggettivi simili.

L'idea di base era che, considerando l'appartenenza di un elemento a un insieme come un concetto anche parzialmente indeterminato, si poteva riuscire a descrivere i fenomeni affetti da incertezza in modo molto migliore di quello classico (utilizzo della teoria della probabilità e del concetto di variabile aleatoria).

Questo, in logica, implicava il passaggio a un livello di verità continuo – o, al limite, a più valori discreti – in sostituzione dei classici due valori, falso e vero.

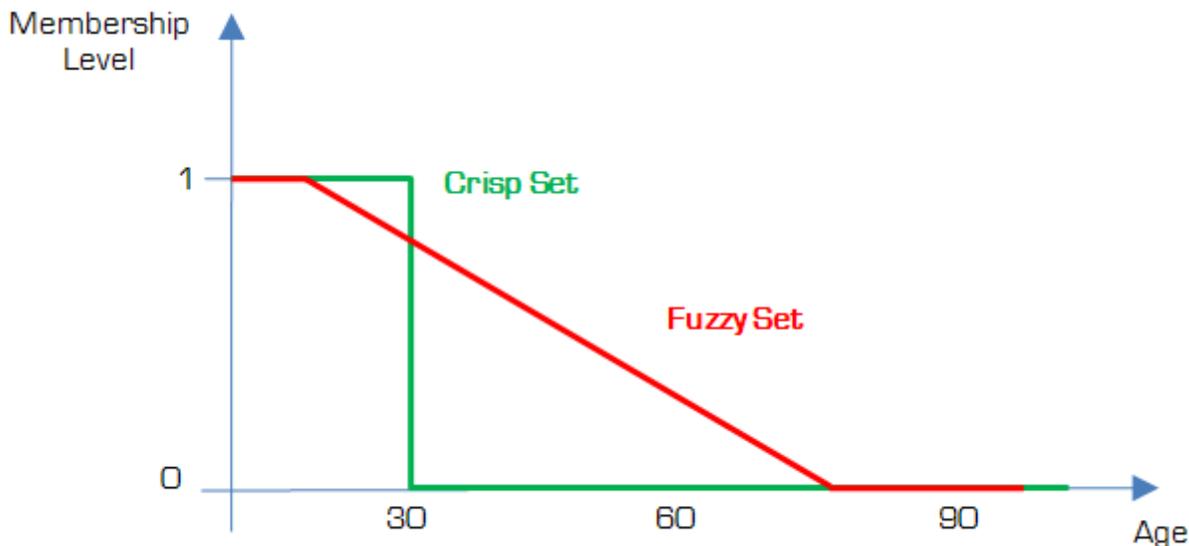


Figura 9 – Un esempio di differenza fra approccio classico e teoria degli insiemi fuzzy nella realizzazione della funzione di appartenenza all'insieme dei giovani, al variare dell'età. Notare come con il secondo approccio, si può essere, ad esempio giovani "0.8" se si hanno 30 anni.

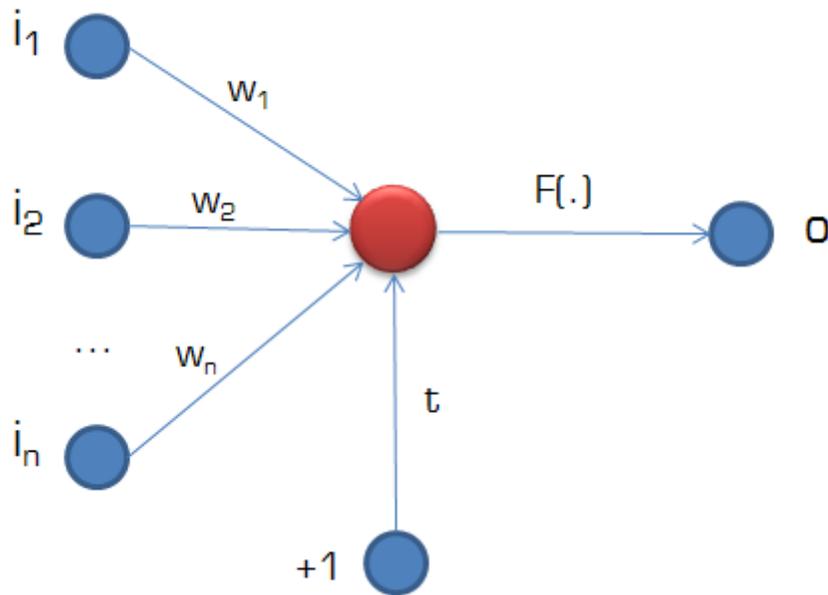
Ciò richiedeva una nuova definizione per molti strumenti di logici base che nessuno si era mai sognato di mettere in discussione fino ad allora. Gli operatori elementari AND, OR, NOT della nuova teoria, ad esempio, venivano ridefiniti così:

x	y	xANDy min(x,y)	xORy max(x,y)	not(x) 1 - x
0	0	0	0	1
0	1	0	1	1
1	0	0	1	0
1	1	1	1	0
0.2	0.3	0.2	0.3	0.8
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.9	0.1	0.1	0.9	0.1

Figura 10 – Tavola dei valori delle proposizioni composte fondamentali in logica fuzzy. Sono state mostrate le 4 combinazioni classiche in logica binaria, più tre possibili configurazioni del caso fuzzy come esempi.

La logica fuzzy e, in particolar modo, la sua funzione di verità ad andamento continuo, oltre a fornire nuovi e potenti strumenti per la modellazione dell'incerto, avevano anche un'altra caratteristica interessante, che possiamo comprendere parlando del *perceptron*.

E' chiamato così il modello matematico del neurone biologico più generale e tradizionale, sviluppato da Rosenblatt nel 1957. La sua idea di base è che il neurone si possa attivare non solo completamente (quando la media pesata dei segnali che riceve supera una certa soglia) ma possa farlo, al di sotto di questa, anche parzialmente, a seconda della sua "funzione di attivazione".



*Figura 11 – Rappresentazione schematica di un perceptron. Notare gli elementi di base: gli  $n$  ingressi e i corrispondenti pesi sinaptici ( $w_k$ ), il valore di soglia ( $t$ ), la funzione di attivazione  $F(.)$  e l'uscita ( $o$ ). Nel caso più semplice  $F(.)$  ha andamento a gradino, con l'equivalenza neurone = perceptron = sommatore a soglia.*

E' chiaro come lo schema si presti bene a una sua trasposizione in logica "sfumata": gli ingressi (deterministici o aleatori) possono essere sostituiti da variabili fuzzy e la funzione di attivazione può essere la funzione di verità (o appartenenza se si parla di insiemi) di cui in Figura 9. Ecco quindi il matrimonio fra ANN e pensiero fuzzy e la nascita del filone dei sistemi neuro-fuzzy.

Reti neurali artificiali, algoritmi genetici e pensiero fuzzy aprirono la **terza fase** dell'IA in cui le parole chiave furono "sistema *black box*". Qui l'idea era di realizzare la funzione di trasferimento (INPUT→OUTPUT) non attraverso un ben definito insieme di regole (come nei parser o nei sistemi esperti) ma codificando le conoscenze in modo distribuito e non noto a priori su molte unità di memoria elementare ciascuna delle quali, presa singolarmente, non era associabile a nessuna conoscenza specifica. Si puntava a far sì, in sintesi, che i software costruissero e utilizzassero *da soli* la propria

intelligenza – intesa come capacità di risolvere una classe di problemi, nella pratica sempre abbastanza circoscritta – con l'intervento minore possibile del programmatore.

Il fatto che tale intelligenza venisse considerata una *proprietà emergente* (un qualcosa di non ottenibile per semplice somma delle proprietà dei costituenti elementari) determinò l'aggancio anche con la teoria dei sistemi complessi che in quegli anni stava guadagnando rapidamente spazio. Determinò pure l'affermarsi di una corrente di pensiero all'interno dell'IA, il *connessionismo* che, per la prima volta, trovò i suoi esponenti più importanti al di fuori dell'informatica e delle scienze logico-matematiche (es.: gli psicologi David Rumelhart, David McClelland e il biologo Gerald Edelman). Le applicazioni di sistemi di questo tipo che hanno avuto maggiore successo si sono avute in elettronica, biologia, economia, nel riconoscimento audio/video, nel *data mining* e nel campo delle tecniche di *forecasting*.

Tutti risultati importanti e per certi versi strabilianti ma, ancora, niente che rese la comunità scientifica concorde nell'affermare che la prima intelligenza creata dall'uomo era venuta alla luce.

Siamo quindi, oggi, nel **quarto periodo** dell'IA, in cui a fianco di tanti sviluppi interessanti e controversi uno solo è il dato indiscutibile: ancora nessuno ha creato una mente artificiale. Ma perché realizzare una IA come pensata a Dartmouth è così difficile o è, addirittura, un compito per definizione impossibile?

Alcuni come John Lucas e Roger Penrose hanno puntato sulla limitatezza dei sistemi formali (derivante dai teoremi di incompletezza e indecidibilità di Goedel) con la mente umana che avrebbe il suo fattore critico di successo proprio nel ragionamento non simbolico.

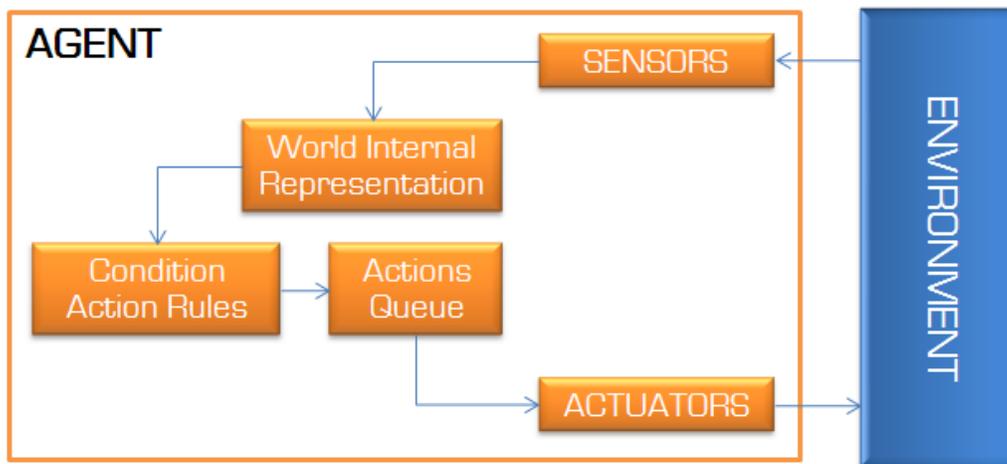
Altri hanno osservato che è la stessa definizione di intelligenza ad essere carente. In questo caso sul banco degli imputati (si veda John Searle e il paradosso della Stanza Cinese), più che l'IA di per sé, c'è il Test di Turing e la sua visione parzialmente limitata.

Una ulteriore tesi a sostegno dell'inadeguatezza dei tentativi di IA fatti finora è basata sulla loro evidente natura monodirezionale (software→hardware) in contrasto con la bidirezionalità del legame mente-corpo e con il ruolo decisivo giocato non solo dagli stimoli fisici (ambiente) ma anche da quelli culturali (società) [4].

In virtù di questi dubbi e del fatto che i risultati migliori sono stati ottenuti solo in applicazioni specifiche oggi l'interesse dei ricercatori è, principalmente, nell'integrazione

fra forme diverse di software intelligenti per scopi estremamente circoscritti (IA debole). Quasi nessuno si preoccupa più di costruire macchine o programmi in grado di superare il test di Turing o di manifestare intelligenza su un insieme vasto di comportamenti.

Questo scenario è anche quello descritto in [5] dove viene ampiamente sviluppato il nuovo concetto di *agente intelligente*, intendendo con tale locuzione un sistema immerso in un ambiente con cui scambia continuamente e bidirezionalmente informazioni tramite sensori (input) e attuatori (output).



*Figura 12 – Schema concettuale di intelligent agent. Notare due aspetti fondamentali: 1) L'agente modifica sulla base degli input ambientali non solo il proprio comportamento ma in generale l'ambiente stesso 2) L'agente è, tipicamente, un sistema misto, umano più artificiale.*

E l'IA forte, ci si potrebbe chiedere, che fine ha fatto? Beh, in qualche misura è sopravvissuta, anche se ha cambiato varie cose rispetto all'impostazione originaria. Ha, intanto, cambiato nome: anche per distaccarsi dai fallimenti della IA precedentemente descritta i sostenitori della Strong AI si sono riuniti sotto la nuova sigla AGI (Artificial General Intelligence) o sotto altri acronimi tipo WBE (Whole Brain Emulation).

E' difficile, ad oggi, capire quali siano i suoi veri tratti distintivi anche per la sua natura fortemente in divenire.

Di sicuro c'è la volontà di rompere col passato, concependo metodi di misurazione più profondi e completi del test di Turing, si veda ad esempio tutto il filone dedicato al MIQ (Machine Intelligent Quotient) anche per i sistemi misti uomo-macchina.

Inoltre è indubbio lo sforzo di superare l'approccio della IA tradizionale, multidisciplinare, certo, ma principalmente centrato sulle scienze dell'informazione. Il nucleo delle AGI è, infatti, nativamente interdisciplinare e basato sull'integrazione di biologia, scienze cognitive, neuroscienze e nanotecnologie con le IT (Information Technology).

Certo, in contrasto con questo strabiliante dispiegamento di saperi scientifici, alcune affermazioni di chi, a tutt'oggi, continua a credere nella Strong AI possono sembrare pseudoscientifiche se non assurde o vagamente inquietanti. Prendiamo il pensiero della "singolarità", ad esempio: diversi sostenitori dell'AGI concordano con la tesi esposta dall'inventore e futurologo americano (nonché allievo di Marvin Minsky) Ray Kurzweil [6] secondo il quale i primi risultati significativi in termini di emulazione delle funzioni cerebrali arriveranno fra il 2015 e il 2045. Già tale affermazione non è cosa da nulla, ma c'è di più: la Whole Brain Emulation sarebbe solo il primo passo di un progresso sempre più accelerato, in cui l'uomo aumenterà vertiginosamente il proprio potenziale fisico e intellettuale grazie agli impianti cibernetici, fino a diventare una sorta di "Uomo 2.0". In un mondo, poi, in cui uomini e macchine intelligenti saranno in grado di decidere, grazie alle nanotecnologie, anche il proprio percorso evolutivo.

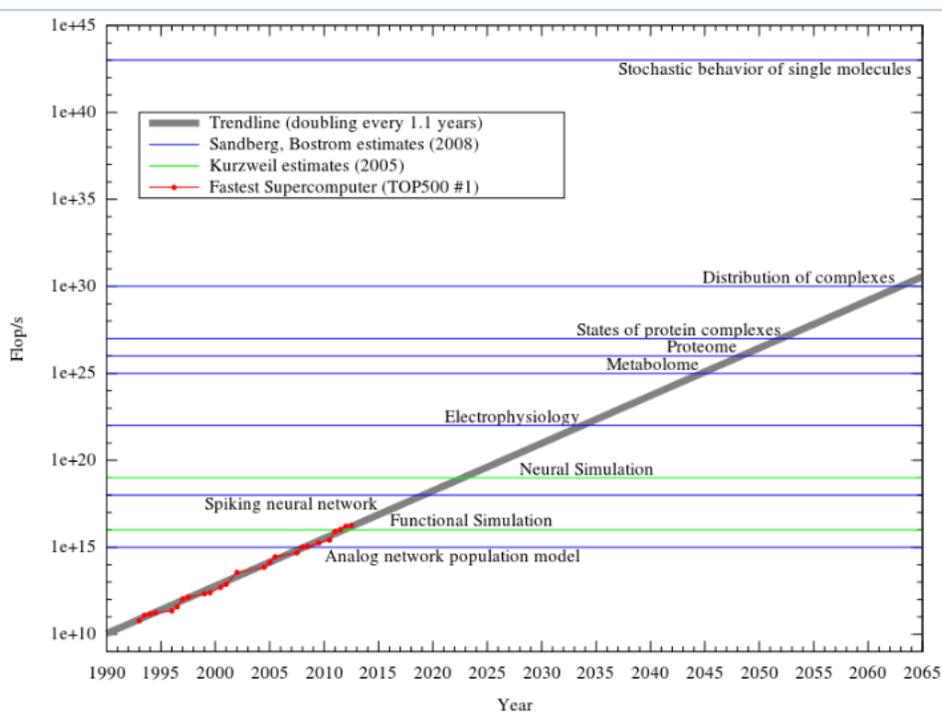


Figura 13 – Grafico presente in [6] che indica con la linee trasversale la capacità di calcolo dei 500 elaboratori più potenti al mondo in operazioni in virgola mobile (Flop/s = FLoating point OPerations per second). Le linee orizzontali indicano le potenze necessarie per le

*funzionalità indicate (es. Simulazione Neurale, 1<sup>20</sup> Flop/s). Le intersezioni determinano quindi i periodi ipotizzati per il raggiungimento di tali traguardi.*

Idee discutibili? Eccesso di semplificazione e di fiducia nella tecnologia? Disinteresse per tutte le possibili implicazioni etiche o di sicurezza per il genere umano? Forse. Una cosa però è certa: per vedere se ci stiamo avvicinando o no a quanto previsto da Kurzweil non occorrerà aspettare, poi, troppo tempo.

## 5. Il Progetto SPAUN<sup>3</sup>

### 5.1. Generalità

SPAUN sta per Semantic Pointer Architecture Unified Network e questo nome ha cominciato a godere di una certa notorietà a partire dalla fine del 2012. Su Science del 30 Novembre 2012 è stato pubblicato l'articolo *A Large-Scale Model of the Functioning Brain* [7] da parte di Chris Eliasmith, professore associato dell'Università di Waterloo (Canada) e direttore del Centro di Neuroscienze Teoriche. A seguito di tale contributo sono arrivate circa altre 100 pubblicazioni scientifiche e si è manifestata anche una notevole attenzione da parte dei media internazionali e italiani. Il portale Youtech l'ha definito "il miglior cervello artificiale mai creato" e anche testate nazionali più note come il TG1 Online e il Secolo XIX hanno dato spazio all'argomento.

Di cosa è capace SPAUN? Innanzitutto di emulare funzioni come il riconoscimento di numeri o lettere disegnati a mano libera o di completare sequenze in cui mancano uno o più elementi. Non solo: è anche in grado di esprimere la propria risposta tramite attuatori e quindi di disegnarla o di dirigere un mezzo meccanico attraverso una serie di ostacoli. Il tutto, ovviamente, senza aver alcun codice specifico per tali funzioni ma costruendosi autonomamente le strategie in base all'esperienza in pieno rispetto dell'approccio connessionista.

Il perché tutto questo possa essere ritenuto straordinario sarà spiegato diffusamente nel paragrafo 5.2 ma c'è anche un altro aspetto non secondario che potremmo introdurre subito. Ognuno, con un normale PC o laptop, può contribuire al progetto, segnalando *bugs* o sviluppando propri modelli di comportamenti non direttamente studiati dal centro di ricerca. Noi abbiamo deciso di provare Nengo in prima persona e i risultati di questo *test drive* verranno esposti nel paragrafo 5.3.

---

<sup>3</sup> Il sito di riferimento è [nengo.ca](http://nengo.ca), citato in bibliografia. E' utile tener presente che Nengo è il nome del software a interfaccia grafica utilizzato per la costruzione degli scenari mentre SPAUN è il nome del modello cerebrale complessivo.

Un piccolo progetto a forte componente *open* “contro” grandi progetti di Big Science: non sappiamo chi la spunterà alla fine, ma non avremmo dubbi nel dire per chi tiferemmo.

## 5.2. Come funziona

SPAUN utilizza un approccio di tipo connessionista, simile a quello delle applicazioni ANN anni '90 ma con la novità di aver pensato l'architettura generale non *a prescindere* dal cervello che si vuole simulare.

Concettualmente tutto ciò pone il modello di riferimento in una posizione sostanzialmente aristotelica: la mente qui è, in altre parole, sia software che hardware.

Per questo motivo la modellizzazione è avvenuta a due livelli: anatomico e funzionale. La schematizzazione delle caratteristiche fisiche dell'organo cerebrale può essere riassunta in questa figura, tratta come gran parte delle considerazioni di questo paragrafo dall'articolo di Eliasmith:

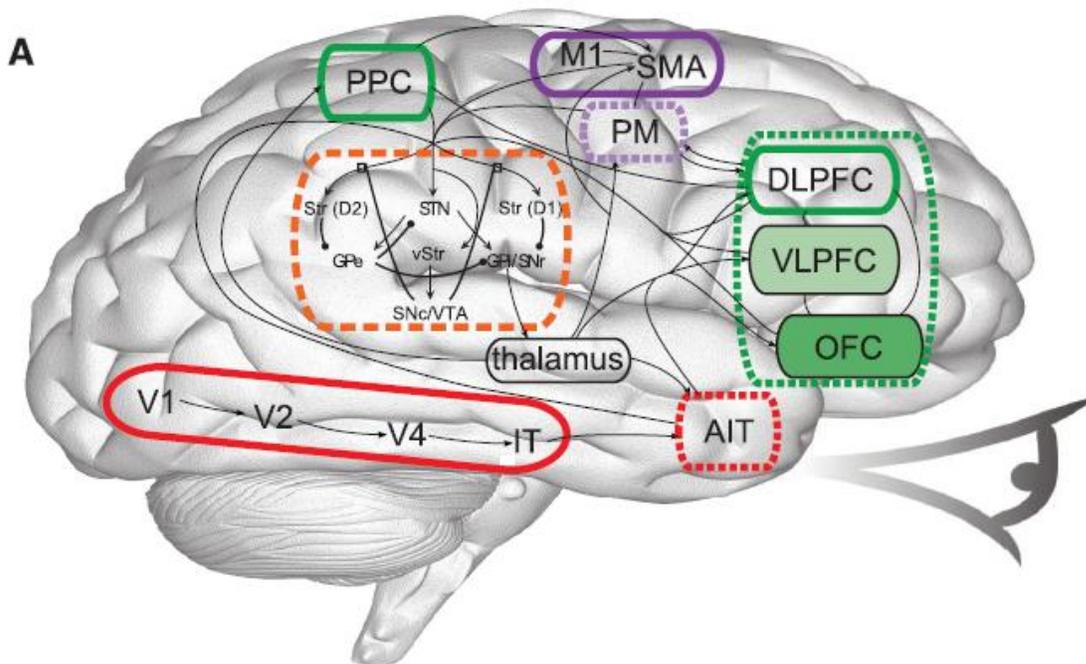


Figura 14 – Mappatura del cervello umano utilizzata dal modello di SPAUN

Una spiegazione dettagliata di questo modello ci porterebbe fuori dagli scopi del presente lavoro: ci limitiamo pertanto ad osservarne gli aspetti più macroscopici.

Abbiamo un'area (V1,V2,V4,IT ossia corteccia visuale primaria, secondaria, extra striata, inferiore temporale) dedicata all'elaborazione degli input visivi. Questi, come altri input, sono processati dalla corteccia anteriore inferiore temporale (AIT) che si occupa della codifica delle informazioni preventiva alla loro memorizzazione o elaborazione. La sua area funzionale duale è la corteccia prefrontale (PFC, non rappresentata in figura), responsabile della decodifica delle informazioni. Il complesso delle aree tratteggiate in verde è, in qualche misura, l'analogo del complesso "unità aritmetica logica più memoria RAM" di un calcolatore: la corteccia prefrontale ventrolaterale (VLPFC) è un'area di calcolo dedicata alle trasformazioni di dati tipo combinazione o riconoscimento di *pattern* mentre la corteccia prefrontale dorso laterale (DLPFC) e la corteccia orbitofrontale (OFC) si occupano della gestione dei feedback dagli organi sensoriali. Queste elaborazioni possono richiedere anche l'intervento di zone aggiuntive: ecco quindi il ruolo della corteccia parietale posteriore (PPC) nelle elaborazioni video particolarmente complesse. L'insieme delle aree delimitate dalla linea in tratteggio arancione svolge, invece, un altro compito molto importante: quello della cosiddetta *action selection*. In neuroanatomia un nucleo è un insieme compatto di neuroni, talvolta con un'organizzazione interna in sotto-nuclei. Fra i nuclei particolare importanza rivestono i cosiddetti *basal ganglia* il cui corretto funzionamento è legato alla piena funzionalità nel controllo motorio. Nel modello SPAUN il nucleo striato (Str(D1), Str(D2), STN, VStr) è responsabile del passaggio degli input motori ai *basal ganglia* attraverso tre canali: diretto, indiretto, super diretto. I nuclei costituiti dal *globus pallidus* e dalla *substantia nigra* sono poi responsabili della gestione e della modulazione degli output dei *ganglia*. Lo stadio a valle dei *ganglia* per il controllo motorio è costituito dal talamo (*thalamus*), dalla corteccia premotoria (PM), dalla corteccia motoria primaria (M1) e, infine, dall'area motoria supplementare (SMA).

In breve: si è compreso che esistono varie aree, ciascuna con caratteristiche biologiche proprie (tipologia di tessuti, connessioni interne, tempi e modalità di attivazione) e ciascuna con compiti preferenziali, ma con nessuna corrispondente ad un *single point of failure* del sistema.

Si è anche capito, poi, che esiste una strategia di fondo nella gestione delle informazioni: quella della codifica e decodifica (o compressione/decompressione come viene chiamata dagli autori). L'idea di per sé è semplice: un cervello biologico, anche se ormai manifesta una potenza di calcolo comparabile a quella di un ordinario PC, è indubbiamente molto più efficiente di questo nella gestione di suoni, immagini e oggetti complessi.

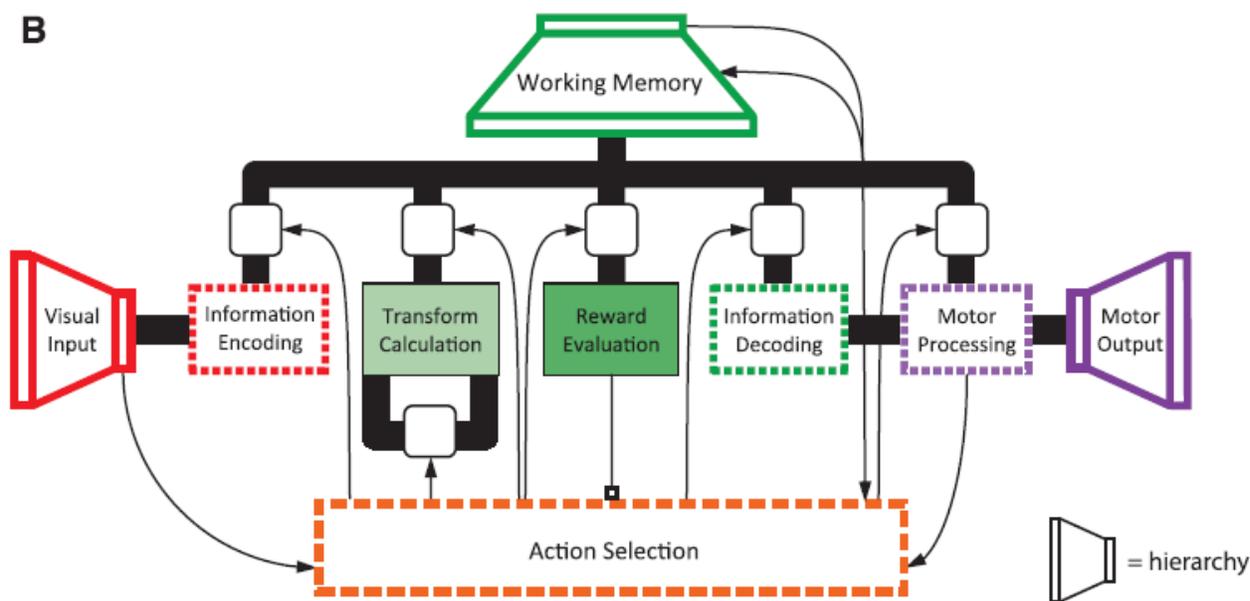
	Computer (1994)	Human Brain
Computational units	1 CPU, $10^5$ gates	$10^{11}$ neurons
Storage units	$10^9$ bits RAM, $10^{10}$ bits disk	$10^{11}$ neurons, $10^{14}$ synapses
Cycle time	$10^{-8}$ sec	$10^{-3}$ sec
Bandwidth	$10^9$ bits/sec	$10^{14}$ bits/sec
Updates/sec	$10^5$	$10^{14}$

Figura 15 – Un classico confronto PC – Cervello umano in termini di specifiche hardware (porte logiche, unità base, frequenza di clock, banda del segnale processabile, frequenza di refresh).

Perche? Le entità in cui il cervello eccelle, espresse in termini di bytes, comportano carichi computazionali notevoli, in grado di mettere in crisi il generico calcolatore come possiamo verificare cercando di utilizzare PC non nuovissimi per guardare filmati ad alta definizione. Si è supposto, perciò, che il cervello non memorizzi o elabori tutti i bit, ad esempio, di un volto ma solo quelli di una sua rappresentazione condensata, di peso notevolmente inferiore. Un *hash* che, richiamato in superficie (ad esempio per rispondere ad un sorriso) verrebbe decompresso per arrivare al livello di dettaglio necessario al comando di tutti i muscoli facciali.

Si è, infine, riconosciuto il ruolo dei *basal ganglia* di attivatori delle aree funzionali maggiormente preposte per le elaborazioni di dettaglio sulla base degli input esterni o intermedi.

Il tutto ha portato a un modello funzionale siffatto:



*Figura 16 – Lo schema logico-funzionale di SPAUN*

Qui le “gerarchie” non sono altro che reti di neuroni a triangolo (molti neuroni nello strato di ingresso e pochi in uscita o viceversa) che, come sappiamo dalla teoria, ben si prestano alle operazioni di compressione e decompressione, rispettivamente.

Ci si potrebbe chiedere, a questo punto: “Ok, ci sono varie aree, ciascuna utilizzata in determinati casi, che svolgono determinati compiti. Ma come vengono attivate e cos’è l’informazione che viene passata, compressa, decompressa, trasformata?”. Anche in questo caso la risposta è arrivata da una sintesi di neurofisiologia e teoria delle reti. E, tanto per capirne l’importanza all’interno del ragionamento, è proprio questa risposta la Semantic Point Architecture (SPA) che ha dato il nome all’intero progetto.

Ciò che si propaga all’interno del cervello sono segnali elettrici impulsivi di determinate ampiezze e durate: questo lo si sa da tempo. Il passo avanti che fa la SPA è il riconoscere che tali segnali non viaggiano singolarmente ma a gruppi e che sono le aree che comunicano tramite insiemi di impulsi elettrici, non i singoli neuroni. E’ come se da un’area all’altra passassero, dunque, dei vettori n-dimensionali in cui ciascun elemento corrisponde sì ad un livello di attivazione di un singolo neurone ma in cui, contemporaneamente, anche la configurazione complessiva è importante, per il significato che trasporta (ecco quindi il motivo dell’aggettivo “semantico”).

### 5.3. Test Drive

Il primo passo per provare il nostro software è stato, ovviamente, quello di scaricarlo. La cosa è stata resa molto semplice dagli autori del progetto: esiste una pagina dedicata da cui è possibile fare il download del file ZIP di Nengo, pari a circa 24MB.

Dopo averlo decompresso si è ottenuto un programma in JAVA con il suo insieme di sottocartelle. Con le istruzioni del file *readme* siamo passati immediatamente al lancio: abbiamo svolto il tutto in ambiente Windows ma lo stesso sarebbe avvenuto sotto Mac o Linux.

A questo punto, abbiamo dovuto affrontare un piccolo problema.

Come viene affermato nella documentazione ufficiale, il modello completo utilizzato per la produzione dei video e dell'articolo su Science richiederebbe il requisito non proprio banale di 24GB di RAM per poter girare in tempi accettabili<sup>4</sup>. Nengo, infatti, riesce sì a emulare vari comportamenti reali ma lo fa con una certa dilatazione dei tempi che con una RAM ordinaria di 2-4 GB sarebbe problematica: per questo i file di inizializzazione sono stati tarati sui 24GB. A causa di ciò è stato, dunque, inizialmente impossibile proseguire per un errore di "out of memory" nella creazione della Java Virtual Machine.

Del resto l'obiettivo, qui, non era la prova scenari veramente significativi, ma solo quello di testare degli esempi semplici per i quali poteva essere ragionevole anche una memoria standard. Abbiamo, perciò, apportato una semplice modifica nel file *batch* di lancio sulla RAM utilizzabile e riprovato.

Subito, siamo riusciti a proseguire e a completare tutti i passaggi di cui qui di seguito.

Quello che ci si è presentato è stato uno spazio vuoto in cui inserire una o più nuove reti, ciascuna corrispondente a un'area funzionale. Ogni rete poteva, poi, essere riempita con gli oggetti che abbiamo visto nel corso della descrizione del modello e che sono riassunti in questa immagine:

---

<sup>4</sup> Alla pagina <http://models.nengo.ca/spaun> si afferma che "This model requires a machine with at least 24GB of RAM to run the full implementation. Estimated run times for a quad-core 2.5GHz are 3 hours per 1 second of simulation time".



Figura 17 – Gli oggetti disponibili in Nengo

La logica, come si vede, è quella classica della teoria dei sistemi.

Ma accanto ai comuni blocchi elementari (come input, output, integratori, sistemi lineari, oscillatori e così via) vi sono tutta una serie di altri blocchi assolutamente specifici del problema e del modello. Non ci sono singoli neuroni o blocchi *perceptron* bensì gruppi di neuroni di determinate aree fisiche o funzionali coi parametri tipici dei loro corrispondenti biologici. Così, ad esempio, se inseriamo un oggetto di tipo *basal ganglia*, occorre specificare, oltre al nome, il numero di azioni fra le quali decidere e il valore della costante tempo dei pesi post sinaptici. Niente a proposito dei tipici parametri dei modelli *general purpose*, come il tasso di apprendimento, il tipo di funzione di attivazione e via dicendo: non si possono scegliere perché è la fisica dell'organo cerebrale che li ha già specificati per noi.

Tramite la funzione File/Open è possibile aprire alcuni modelli di esempio o provare qualcuno dei modelli caricati sul sito. Noi abbiamo provato a realizzare un semplice sommatore, ovvero un circuito neurale in grado di emulare la combinazione lineare fra due diversi input come accade – in termini grossolani – con la visione, in cui il cervello mette insieme le informazioni provenienti dai due occhi.

La manualistica ci ha reso in grado di compiere questa operazione dopo circa un'ora fra lettura e tentativi vari.

I primi oggetti che abbiamo inserito nello spazio di lavoro sono stati gli input esterni, associandoli, per cominciare, a dei valori costanti (zero e uno). A ciascuno di questi abbiamo collegato un gruppo di neuroni a sviluppo monodimensionale (perché doveva trattare solo una sorgente) dotato di una terminazione e di un'uscita.

Abbiamo dovuto, poi, far sì che le due uscite venissero compresse in un'unica informazione: il livello di attivazione dello strato a valle. Per far questo abbiamo inserito un gruppo di neuroni con pesi sinaptici unitari (in modo che ciascun ingresso fosse trattato allo stesso modo nella valutazione complessiva).

In sostanza abbiamo realizzato una rete siffatta:

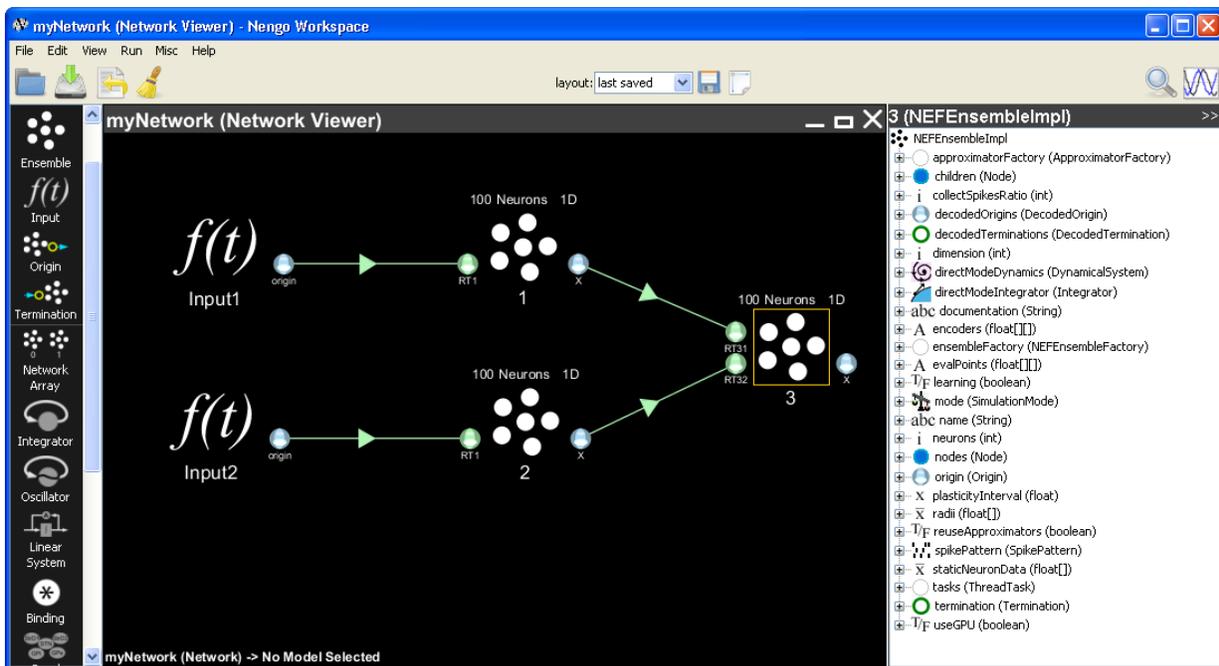


Figura 18 – Modello di rete di un sommatore a due ingressi

Per vedere come funzionava abbiamo utilizzato la funzione Run/Interactive Plot. Questa ci ha portato in uno spazio dove è stata rappresentata sinteticamente la topologia e dove abbiamo potuto inserire anche degli ulteriori elementi di visualizzazione e controllo. Abbiamo costruito, dunque, un cruscotto come questo:

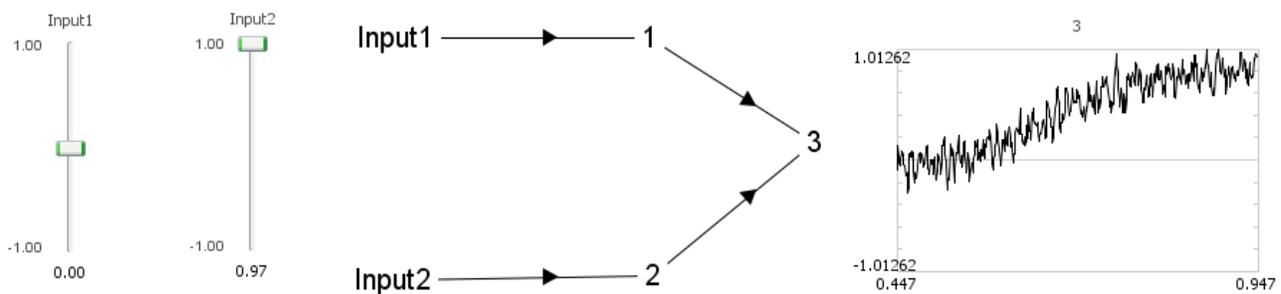


Figura 19 – Interactive plot del sommatore a due ingressi

Ponendo a zero entrambi gli input abbiamo trovato un output oscillante intorno allo zero (coerentemente col fatto che  $0+0=0$ ). Appena abbiamo settato il valore di uno dei due ingressi a uno l'uscita si è poi messa ad oscillare, con un ritardo compatibile con quello di una reale rete di neuroni biologici, intorno all'unità. Tale valore era il risultato di una griglia di attivazione (matrice che descrive per ciascuno dei neuroni del gruppo lo stato di eccitazione, utilizzando una scala cromatica) che si evolveva nel tempo. La sua foto nell'istante finale era la seguente:

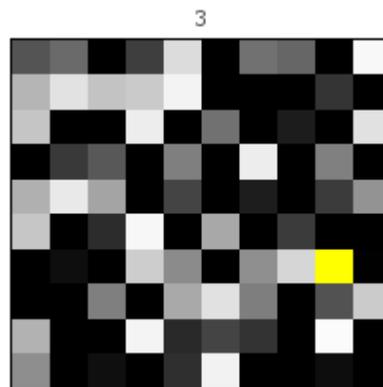


Figura 20 – Griglia di attivazione del gruppo dei neuroni di uscita dell'esempio

Quest'esempio è estremamente semplice ma avrà probabilmente mostrato che siamo di fronte a qualcosa di molto più vicino alle peculiarità biologiche dell'organo dei tradizionali modelli a reti neurali *general purpose*.

Va evidenziato che la curva di apprendimento e utilizzabilità di Nengo è estremamente ripida: per poter far girare esempi di qualche interesse pratico in neuroscienze sono indispensabili, oltre a una comprensione elevata delle ragioni biologiche dei gruppi scelti, delle loro connessioni e dei loro set di parametri, anche una capacità computazionale vicina a quella piena. Si è riscontrato, ad esempio, che la *demo*

relativa al test di Raven<sup>5</sup> – corrispondente ad un articolo di Eliasmith che ha superato la *peer review* – ha determinato ancora un *crash* per “out of memory” nel laptop<sup>6</sup> utilizzato.

A fronte di questo evidente ostacolo alla diffusione abbiamo che lo strumento fornisce importanti funzionalità di parametrizzazione e personalizzazione (descrizione delle reti anche attraverso linguaggi di *scripting*, integrazione con Matlab, set di API<sup>7</sup> ben fornito e documentato) che lo rendono utilizzabile anche insieme a software o hardware di terze parti.

Riguardo agli aspetti di *crowdsience*<sup>8</sup> abbiamo che la sezione “models” del sito contiene circa una ventina di modelli a cui corrispondono circa una metà di articoli *peer reviewed*, anche se non si può non notare che la maggior parte di questi sono stati caricati fra la fine del 2011 e l’inizio del 2012 con conseguenti dubbi sul reale seguito attuale del progetto.

Dubbi che, però, sembrerebbero fuggiti dall’esame del *repository* dei sorgenti, dei file di esempio e della documentazione (<https://github.com/ctn-waterloo/nengo>) che presentano la maggior parte degli aggiornamenti quasi allineati alla data corrente.

Lo sforzo per alimentare la componente *crowd* può essere associato anche alla recente pubblicazione (Marzo 2013) del testo *How to Build a Brain: A Neural Architecture for Biological Cognition* da parte del coordinatore del progetto Chris Eliasmith e all’apertura per il Giugno dell’anno prossimo di una *summer school* con 15 borse di studio.

## 6. Conclusioni

Come probabilmente sarà emerso dalle pagine precedenti il lungo percorso dell’IA è ancora ben lontano dall’essere terminato. Molto ancora bolle in pentola e i progetti continuano a nascere e morire o a ripresentarsi in forme diverse.

---

<sup>5</sup> Questo test di intelligenza è basato sul riconoscimento di sequenze con incremento uno. Ad esempio dati gli input 5,6,7 e 1,2 la risposta giusta è 3. Il modello per la risoluzione con Nengo di questo problema è presente alla pagina <http://models.nengo.ca/RPMdemo>.

<sup>6</sup> È stato utilizzato un Dell Precision M4400 con Intel Dual Core da 2,80 GHZ e 4GB di RAM.

<sup>7</sup> In informatica API sta per Application Programming Interface. Le API sono delle apposite librerie che permettono di interagire con un programma a livello di profondità simile a quella che si otterrebbe disponendo del suo codice sorgente, rendendo però la conoscenza dell’intera complessità di quest’ultimo non necessaria.

<sup>8</sup> Qui *crowd* viene usato non come sinonimo di folla indistinta ma come analogo di *network esteso*. Di un pubblico, cioè, ben più ampio rispetto a quello di una comunità scientifica di settore ma, sicuramente, più ristretto rispetto al generico insieme di utenti di PC/Internet.

Ci sono, sicuramente, diversi ricercatori che riconoscono piena validità scientifica solo alle applicazioni più settoriali o deboli. Il filone della IA forte sembra sempre più prossimo ad abbandonare definitivamente l'ambito scientifico, venendo oggi associato a cose tipo ibernazioni, viaggi interstellari e semi-immortalità più che a pubblicazioni su riviste accreditate o a conferenze accademiche.

Eppure non sarebbe corretto neanche liquidare semplicisticamente la faccenda parlando di dimostrato fallimento della IA forte: i progetti di Whole Brain Emulation in corso, alcuni dei quali da svariati miliardi di euro, non possono non alimentare dei dubbi sul fatto che qualcosa di grosso potrebbe essere anche stato intravisto all'orizzonte.

Forse la chiave per arrivare al cervello artificiale potrà essere la Big Science o forse piccoli progetti con forte componente *open* come quello SPAUN che abbiamo provato brevemente a recensire.

A oggi non è facile fare delle previsioni attendibili. Possiamo però osservare come le macchine pensanti sono, nel caso più prudentiale, ancora lontane dalle nostre linee di produzione quanto già vicine al nostro immaginario.

HAL 9000, Matrix, Eva sono solo alcuni dei protagonisti di film di fantasia che, anche non volendo, fanno già capolino nella nostra mente quando interagiamo con le piccole applicazioni *hi-tech* che ci circondano: come ha fatto quel sito a *capire* che stavo cercando proprio un regalo del genere? attraverso il cellulare mi stanno spiando? c'è davvero chi con *smart card* e *microchip* sta gettando le basi per un nuovo ordine mondiale? Sogni e inquietudini che probabilmente saranno dentro di noi anche quando saremo chiamati a decidere su questioni come la Internet Of Things, le Biotecnologie e le protesi cibernetiche, in un futuro assai prossimo.

In conclusione, oggi non siamo in grado di dire se l'IA è stata più una grande sfida o più una grande illusione. Se ci aiuterà solo a produrre meglio o ci permetterà effettivamente di pilotare astronavi o diventare dei semi dei in grado di costruire delle macchine con una coscienza.

Possiamo affermare, però, che ha già accesso la nostra capacità di immaginare; che ci ha costretto a pensare meglio a quel che vorremmo essere e che ci ha messo di fronte all'idea di un possibile passaggio dalla fantascienza alla realtà, molto più breve di quanto abbiamo sempre creduto.

## 7. Bibliografia e Riferimenti

Il materiale cartaceo e in rete sul tema Intelligenza Artificiale è sterminato.

La bibliografia è stata costruita tenendo presente l'impostazione principalmente divulgativa della presente tesi.

Si troveranno citati, dunque, lavori la cui piena scientificità è stata riconosciuta insieme a materiali assolutamente fuori dalle pratiche di *peer review*, significativi, però, per rappresentare determinati modi di sentire o correnti di pensiero.

### 7.1. Pubblicazioni Cartacee

- [1] Pietro Greco, "Einstein e il ciabattino, Dizionario asimmetrico dei concetti scientifici di interesse filosofico", Editori Riuniti, 2002
- [2] Paul Churchland, "Il motore della ragione la sede dell'anima", Il Saggiatore, Milano, 1998
- [3] Donald Gillies, "Intelligenza artificiale e metodo scientifico", Cortina, 1998
- [4] Gerald Edelman, "La materia della mente", Adelphi, 1993
- [5] Jonathan Russell, Peter Norvig, "Intelligenza Artificiale: Un Approccio Moderno", Pearson, 2010
- [6] Ray Kurzweil, "La singolarità è vicina", Apogeo, 2008
- [7] Chris Eliasmith, Terrence C. Stewart, Xuan Choo, Trevor Bekolay, Travis DeWolf, Yichuan Tang, Daniel Rasmussen, "A large-scale model of the functioning brain" in *Science* Vol. 338 no. 6111 pp. 1202-1205. DOI: 10.1126/science.1225266, 2012

### 7.2. Materiale in Rete

Paola Mello, *Lucidi sui Sistemi Esperti*, Laboratorio di Informatica Avanzata, Università di Bologna URL: <http://www.lia.deis.unibo.it/Courses/AI/fundamentalsAI2011-12/lucidi/SistemiEsperti2011.pdf>

Francesca Rossi, *L'intelligenza artificiale*, Università di Padova, URL: <http://www.math.unipd.it/~frossi/acca1.2.pdf>

John H. Holland, *Genetic Algorithms Computer programs that "evolve" in ways that resemble natural selection can solve complex problems even their creators do not fully understand*, URL: <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/holland.GAIntro.htm>

Lotfi A. Zadeh, *Probability Theory and Fuzzy Logic*, December 9, 2002 URL: <http://www.ieeesmc.org/announcements/Newsletter/JAN2003/Probability%20Theory%20and%20Fuzzy%20Logic.pdf>

Itamar Arel, Scott Livingston, *Beyond the Turing Test*, IEEE Computer Society, 2009, URL: [http://web.eecs.utk.edu/~itamar/Papers/IEEE\\_Comp\\_Turing.pdf](http://web.eecs.utk.edu/~itamar/Papers/IEEE_Comp_Turing.pdf)

Hee-Jun Park, Byung Kook Kim, Kye Young Lim, *Measuring the Machine Intelligence Quotient (MIQ) of Human-Machine Cooperative Systems*, IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetic, 2001, URL: [http://koasas.kaist.ac.kr/bitstream/10203/1104/1/IJ\\_2001hjpark\\_1.pdf](http://koasas.kaist.ac.kr/bitstream/10203/1104/1/IJ_2001hjpark_1.pdf)

Anders Sandberg, Nick Bostrom, *Whole Brain Emulation: A Roadmap*, Technical Report 2008-3, Future of Humanity Institute, Oxford University, 2008, URL: [http://www.philosophy.ox.ac.uk/\\_data/assets/pdf\\_file/0019/3853/brain-emulation-roadmap-report.pdf](http://www.philosophy.ox.ac.uk/_data/assets/pdf_file/0019/3853/brain-emulation-roadmap-report.pdf)

Pei Wang, Ben Goertzel, *Introduction: Aspects of Artificial General Intelligence*, 2006, URL: [https://a316de03-a62cb3a1a-sites.googlegroups.com/site/narswang/publications/wang-goertzel.AGI\\_Aspects.pdf](https://a316de03-a62cb3a1a-sites.googlegroups.com/site/narswang/publications/wang-goertzel.AGI_Aspects.pdf)

Sito *Human Brain Project*, 2013, URL: <http://www.humanbrainproject.eu/>

Vaughan Bell, *The human brain is not as simple as we think*, The Observer, 2013, URL: <http://www.rawstory.com/rs/2013/03/03/the-human-brain-is-not-as-simple-as-we-think/>

Massimo Gaggi, *Obama e la conquista del cervello umano*, 2013, URL: [http://www.corriere.it/salute/neuroscienze/13\\_febbraio\\_19/obama-e-la-conquista-del-cervello-umano-gaggi\\_edc3d2c8-7a77-11e2-896e-599d001aa8d7.shtml](http://www.corriere.it/salute/neuroscienze/13_febbraio_19/obama-e-la-conquista-del-cervello-umano-gaggi_edc3d2c8-7a77-11e2-896e-599d001aa8d7.shtml)

Sito *Nengo*, 2013, URL: <http://nengo.ca>

Matteo Maggioni, *Spaun, il miglior cervello artificiale mai creato*, 2012, URL: <http://www.youtech.it/Tech-Life/Science/Spaun-il-miglior-cervello-artificiale-mai-creato-9178>

Tg1 OnLine, *Spaun, il cervello artificiale che sa disegnare*, 2012, URL: <http://www.tg1.rai.it/dl/tg1/2010/articoli/ContentItem-697e6f49-8866-44f4-a58d-6cd81b90372c.html>

Il Secolo XIX, *Spaun, il cervello artificiale che sa disegnare*, 2012, URL:  
[http://www.ilsecoloxix.it/p/magazine/2012/11/29/APW2EL4D-disegnare\\_artificiale\\_cervello.shtml](http://www.ilsecoloxix.it/p/magazine/2012/11/29/APW2EL4D-disegnare_artificiale_cervello.shtml)

### 7.3. Credits Immagini e Nota Conclusiva

Le immagini utilizzate in questo lavoro sono di vario tipo: elaborazioni personali, immagini di libero utilizzo, immagini trovate in rete di proprietà dei relativi autori (vedi considerazioni successive) e *screenshot* derivanti dall'utilizzo di alcuni software.

Ecco, comunque, un elenco riepilogativo:

<i>Figura 1 – Mappa sulle Teorie delle Mente</i> .....	6
Origine: Elaborazione Personale	
<i>Figura 2 – Pascalina</i> .....	7
Origine: <a href="http://it.wikipedia.org/wiki/File:Arts_et_Metiers_Pascaline_dsc03869.jpg">http://it.wikipedia.org/wiki/File:Arts_et_Metiers_Pascaline_dsc03869.jpg</a> (Creative Commons)	
<i>Figura 3 – Macchina Differenziale</i> .....	8
Origine: <a href="http://it.wikipedia.org/wiki/File:050114_2529_difference.jpg">http://it.wikipedia.org/wiki/File:050114_2529_difference.jpg</a> (Creative Commons)	
<i>Figura 4 – Architettura di von Neumann</i> .....	9
Origine: Elaborazione Personale	
<i>Figura 5 – Listato Logic Theorist.</i> ....	11
Origine: <a href="http://doi.library.cmu.edu/10.1184/pmc/simon/box00006/fld00406/bdl0001/doc0001">http://doi.library.cmu.edu/10.1184/pmc/simon/box00006/fld00406/bdl0001/doc0001</a> (Permesso Richiesto)	
<i>Figura 6 – Architettura di MYCIN, Permesso Richiesto</i> .....	12
Origine: <a href="http://web.cs.wpi.edu/~dcb/courses/CS538/documents/MYCIN.ppt">http://web.cs.wpi.edu/~dcb/courses/CS538/documents/MYCIN.ppt</a> (Permesso Richiesto)	
<i>Figura 7 – Schema ANN</i> .....	13
Origine: Elaborazione Personale	
<i>Figura 8 – Software for The Game Of Life di Edwin Martin</i> .....	14
Origine: Screenshot ( <a href="http://www.bitstorm.org/gameoflife/">http://www.bitstorm.org/gameoflife/</a> , Creative Commons)	
<i>Figura 9 – Logica Fuzzy</i> .....	15
Origine: Elaborazione Personale	

<i>Figura 10 – Tavola verità proposizioni composte fuzzy</i> .....	15
Origine: Elaborazione Personale	
<i>Figura 11 – Perceptron</i> .....	16
Origine: Elaborazione Personale	
<i>Figura 12 – Intelligent Agent</i> .....	18
Origine: Elaborazione Personale	
<i>Figura 13 – Kurzweil Exponential Grow Of Computing</i> .....	19
Origine:	
<a href="http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/PPTExponentialGrowthof Computing.jpg">http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/PPTExponentialGrowthof Computing.jpg</a> (Creative Commons)	
<i>Figura 14 – SPAUN, Mappatura del cervello</i> .....	21
Origine: <a href="http://nengo.ca/publications/spaunsciencepaper">http://nengo.ca/publications/spaunsciencepaper</a> (Permesso Richiesto)	
<i>Figura 15 – Confronto PC – Cervello umano, Permesso Richiesto</i> .....	23
Origine:	
<a href="http://www.diee.unica.it/~roli/IA/Materiale%20didattico/AA1011/Cap9.pdf">http://www.diee.unica.it/~roli/IA/Materiale%20didattico/AA1011/Cap9.pdf</a> (Permesso Richiesto)	
<i>Figura 16 – SPAUN, Schema Logico</i> .....	24
Origine: <a href="http://nengo.ca/publications/spaunsciencepaper">http://nengo.ca/publications/spaunsciencepaper</a> (Permesso Richiesto)	
<i>Figura 17 – Nengo : Gli oggetti disponibili</i> .....	26
Origine: Screenshot (Permesso Richiesto)	
<i>Figura 18 – Nengo : Sommatore a due ingressi</i> .....	27
Origine: Screenshot (Permesso Richiesto)	
<i>Figura 19 – Nengo : Interactive plot</i> .....	28
Origine: Screenshot (Permesso Richiesto)	
<i>Figura 20 – Nengo : Griglia di attivazione</i> .....	28
Origine: Screenshot (Permesso Richiesto)	

Nota conclusiva: dato che i paragrafi 2, 3 e 4 sono rielaborazioni di articoli da me realizzati in precedenza per [Scienza in Rete](#) e [Digicult](#) per il loro utilizzo si rimanda alle modalità di gestione dei diritti di questi siti.

Per ogni eventualità (segnalazioni di refusi, errori vari, utilizzi impropri di materiali o anche solo per richieste di informazioni) è disponibile il mio indirizzo e-mail: Ludovico Ristori, [l.ristori@gmail.com](mailto:l.ristori@gmail.com).