

# Intelligenza Artificiale: una breve introduzione

Marco Piastra

- Searle, J. R. (1986), *Minds, Brain and Science*:
  - “Because we do not understand the brain very well we are constantly tempted to use the latest technology as a model for trying to understand it. In my childhood we were always assured that the brain was a telephone switchboard. (*What else could it be?*) I was amused to see that Sherrington, the great British neuroscientist, thought that the brain worked like a telegraph system. Freud often compared the brain to hydraulic and electro-magnetic systems. Leibniz compared it to a mill, and I am told some of the ancient Greeks thought the brain functions like a catapult. At present, obviously, the metaphor is the digital computer.”

# Primo uso del termine

- John McCarthy et al., 1955:
  - “We propose that a two-month, ten man study of **artificial intelligence** be carried out during the summer of 1956 at Dartmouth College in Hanover, New Hampshire. The study is to proceed on the basis of the conjecture that every aspect of learning or any other feature of intelligence can in principle be *so precisely described* that a machine can be made to *simulate* it.”
  - La proposta era di John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester, and Claude Shannon
  - (Altri presenti: Trenchard More, Arthur Samuel, Oliver Selfridge, Ray Solomonoff, *Alan Newell*, and *Herbert Simon*)

# Pensieri e parole, rappresentazione

- (ancora da John McCarthy et al., 1955):
  - **“How Can a Computer be Programmed to Use a *Language*”**

It may be speculated that a large part of human thought consists of manipulating **words** according to **rules of reasoning** and **rules of conjecture**.

- **“Intelligent machine”**

[...] would tend to build up within itself an abstract model of environment in which it is placed. If it were given a problem, it could first explore solutions within the internal abstract model of the environment and then attempt external experiments.

# Intelligenza, immaginazione e caso

- (ancora da John McCarthy et al., 1955):

- **“Randomness and Creativity”**

A fairly attractive and yet clearly incomplete conjecture is that the difference between **creative** thinking and **unimaginative** competent thinking lies in the injection of a some **randomness**. The randomness must be guided by intuition to be efficient. In other words, the educated guess or the hunch include controlled randomness in otherwise orderly thinking.

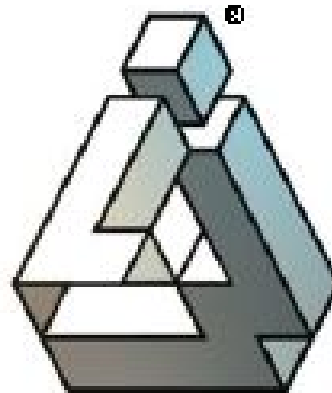
# Modelli cognitivi

- I **modelli cognitivi *simbolici*** sono teorie descrittive delle *facoltà cognitive umane* tradotte in forma di *programmi* per computer
- Un **modello cognitivo** ha lo scopo di spiegare una particolare facoltà cognitiva nei termini di un insieme di *processi computazionali* di base (*primitive*)
- Ciascun modello svolge uno specifico compito cognitivo producendo un *comportamento* che dovrebbe predire (o essere simile) ad un comportamento *umano*
  - La modellazione delle *facoltà umane* è compito della **psicologia cognitiva**
    - Si usano macchine (software) per *descrivere* e *dimostrare*
  - Lo studio delle *tecniche computazionali* è invece l'ambito dell'**intelligenza artificiale**
    - Si usano macchine (software) per *riprodurre, replicare* allo scopo di risolvere problemi pratici

# Intelligenza artificiale?

- Si studia l'intelligenza (intesa come qualità umana) o la sua *simulazione*?
- E` possibile separare i due aspetti?  
In altri termini, è possibile separare lo studio della *simulazione* da quello della qualità *simulata*?

- Esempio: cosa vediamo?



# L'universo del discorso (cognitivo)

- **Facoltà cognitive umane**
  - definizione non facile
  - esempio: il gioco degli scacchi
    - conta solo l'effetto o anche il modo?  
(e.g. applicazione di metodi esaustivi sullo spazio delle mosse)
- **Processi computazionali**
  - una definizione precisa è possibile (e.g. macchina di Turing)
  - devono essere affini a quelli umani?
- **Comportamento**
  - qual'è il comportamento osservabile del sistema?
- **Simulare, similitudine**
  - le facoltà cognitive umane spesso sfuggono alle misurazioni effettive
  - in che senso quindi un comportamento è *simile* a quello umano?



# Comportamento e simulazione

- Test di Turing (*imitation game*)
  - “The new form of the problem can be described in terms of a game which we call the ‘imitation game.’  
It is played with three people, a man (A), a woman (B), and an interrogator (C) who may be of either sex.  
The interrogator stays in a room apart from the other two.  
The object of the game for the interrogator is to determine which of the other two is the man and which is the woman.  
He knows them by labels X and Y, and at the end of the game he says either ‘X is A and Y is B’ or ‘X is B and Y is A’  
The interrogator is allowed to put questions to A and B.”  
[Turing, A., Computing Machinery and Intelligence, *Mind*, Vol. 59, No. 236]
  - Nella forma comunemente intesa oggi del Test di Turing:
    - A è un essere umano, B un computer
    - se B riesce ad ingannare C, allora B è **intelligente**

# Simboli e processi

- The physical-symbol system hypothesis (PSSH)
  - “A **physical symbol system** consists of a set of entities, called **symbols**, which are physical patterns that can occur as components of another type of entity called an expression (or symbol structure).

Thus, a **symbol structure** is composed of a number of **instances** (or tokens) of symbols related in some physical way (such as one token being next to another).

At any instant of time the system will contain a collection of these symbol structures.

Besides these structures, the system also contains a collection of **processes** that operate on *expressions* to produce other *expressions*: processes of creation, modification, reproduction and destruction.”

[Newell, A., Simon, H., "Computer Science as Empirical Inquiry Symbols and Search," Comm. of the ACM, March 1976, pp 113-126.]

# Conoscenza simbolica

- **Fatti:**
  1. Enrico è il genitore di Paolo
  2. Silvia è la genitrice di Giorgio
  3. Silvia è la genitrice di Renato
  4. Enrico è il genitore di Giorgio
  5. Enrico è un essere umano
  6. Paolo è un essere umano
- **Regole:**
  7. Tutti gli esseri umani sono bipedi senza piume
  8. Due cose che hanno gli stessi genitori sono parenti
  9. Chiunque abbia come parente un bipede senza piume è contento

# Ragionamento simbolico

- Giorgio è contento?

[da 9] chi è parente di Giorgio?

[da 8] chi è genitrice di Giorgio? Silvia  
di chi è genitrice Silvia? Renato

Renato e Giorgio sono la stessa cosa? no

[conclusione da 8]: Renato è parente di Giorgio.

[continua con 9] Renato è un bipede senza piume?

[da 7] Renato è un essere umano? non è noto [fallimento]

[torna a 8] di chi altro è genitrice Silvia? Giorgio

Giorgio e Giorgio sono la stessa cosa? sì [fallimento]

[torna a 8] di chi altro è genitrice Silvia? nessuno [fallimento]

[da 8] chi altro è genitore di Giorgio? Enrico  
di chi è genitore Enrico? Paolo

Paolo e Giorgio sono la stessa cosa? no

[conclusione da 8]: Paolo è parente di Giorgio.

[torna a 9] Paolo è un bipede senza piume?

[da 7] Paolo è un essere umano? sì

[conclusione da 7] Paolo è un bipede senza piume.

[conclusione da 9] Giorgio è contento.

- **Fatti:**

1. Enrico è il genitore di Paolo
2. Silvia è la genitrice di Giorgio
3. Silvia è la genitrice di Renato
4. Enrico è il genitore di Giorgio
5. Enrico è un essere umano
6. Paolo è un essere umano

- **Regole:**

7. Tutti gli esseri umani sono bipedi senza piume
8. Due cose che hanno gli stessi genitori sono parenti
9. Chiunque abbia come parente un bipede senza piume è contento

# Sistema cognitivo simbolico

- Simboli
  - hanno una loro *fisicità*, che ne consente la manipolazione
  - possono avere *relazioni* con altri simboli
- Elaborazione
  - il sistema di elaborazione opera solo sulla dimensione *fisica*
  - (è ignaro del *significato* dei simboli)
- Macchina
  - l'implementazione è irrilevante
  - il processo di ragionamento è totalmente indipendente dalla 'tecnologia' utilizzata (*disembodiment*)
  - (il pensiero senza pensatore?)

# Ma Deep Blue è intelligente?

- Computer e scacchi
  - nel 1947 Alan Turing definisce il primo programma (astratto) per il gioco degli scacchi
    - lo scopo è mostrare che attività ritenute (allora) caratteristiche degli esseri umani sono in realtà **replicabili** da una macchina
  - nel 1997 il computer Deep Blue di IBM batte l'allora campione mondiale Gary Kasparov
- Deep Blue
  - 500 processori, 1 Tflop/s
  - in grado di valutare 200 milioni di mosse al secondo
- E` intelligente?
  - o solo un 'velocissimo idiota'?
  - (comunque, il progetto è stato terminato ...)

# E gli elefanti, giocano a scacchi?

- da [Brooks, R., "Elephants Don't Play Chess", *Robotics and Autonomous Systems*, 6, 1990]
- Critica della PSSH
  - un modello 'monolitico' di rappresentazione interna  
(gli esseri umani non fanno così – fenomeno della *change blindness*)
  - un unico sistema (sincrono) di controllo  
(gli studi sulle lesioni cerebrali suggeriscono il contrario)
  - un sistema *general purpose*  
(lo studio della percezione rivela la 'propensione' a preferire alcune interpretazioni rispetto ad altre)
  - totale separazione di mente e corpo (*disembodiment*)  
(con il conseguente disconoscimento di forme di intelligenza non simbolica)
  - (Come avrà potuto evolversi, una simile forma di intelligenza?)

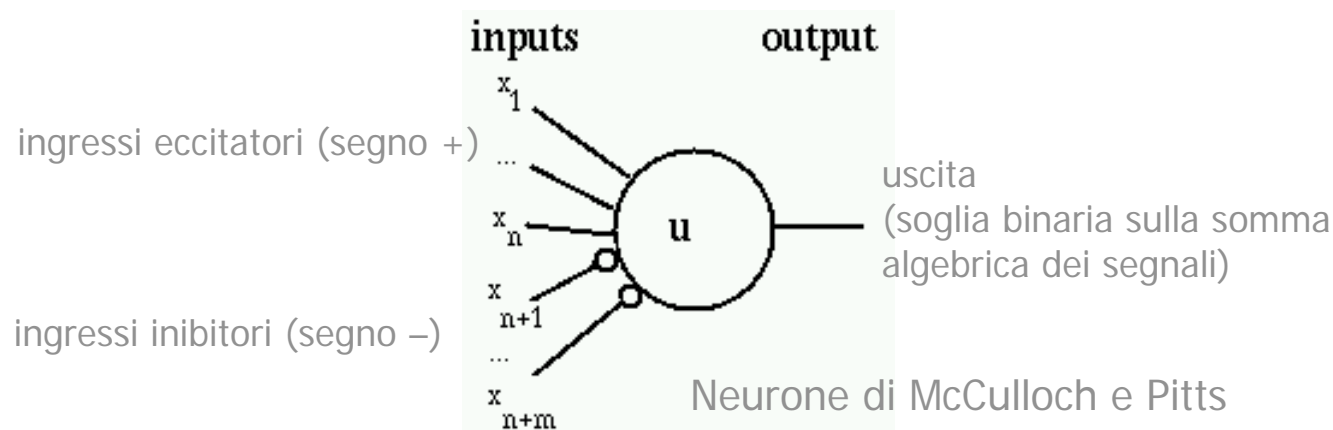
# Intelligenza come proprietà emergente

- Si manifesta attraverso le interazioni
  - con l'ambiente circostante
  - con i propri simili
- Somma di abilità diverse
  - **Sviluppo**, capacità di acquisire nuove conoscenze
  - **Interazione sociale**, trasferimento ed aiuto reciproco
  - **Corporeità** (*embodiment*) e **contesto fisico** (*physical coupling*)  
uso il proprio corpo e dell'ambiente circostante come strumento
  - **Integrazione**, tra abilità e comportamenti diversi
- '*Patchwork of behaviors*'
  - invece di simboli
  - stratificazione (*subsumption*) di comportamenti che legano percezioni ad azioni
  - in pratica si suggerisce di costruire robots (*behavior-based robotics*) ...

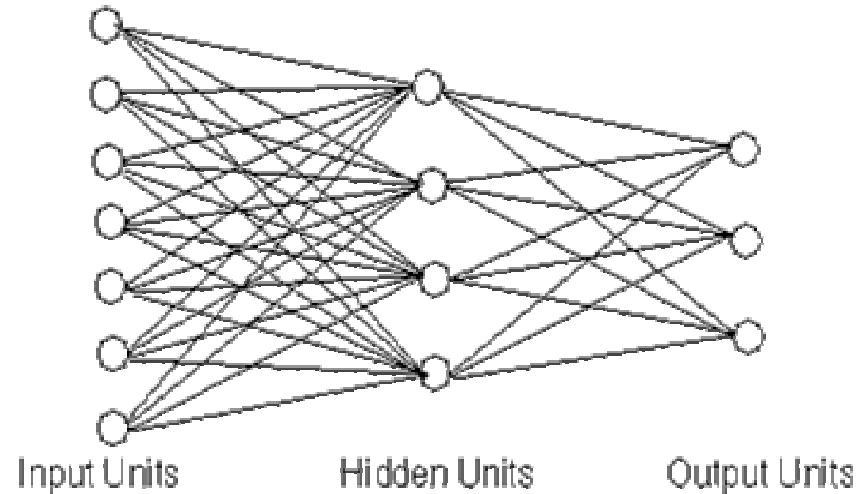


# Connessionismo

- “Occorre considerare anche il *cervello*, non solo la mente”
  - un’ipotesi opposta al *disembodiment* tipico del ragionamento simbolico
- Un fondamento di bio-affinità
  - nel 1943, Mc Culloch e Pitts descrivono un modello computazionale basato su una rete di neuroni a soglia binaria
  - dimostrano il comportamento della rete può essere descritto in termini di formule simboliche (logica del primo ordine)
  - (ma la rete neurale ‘non lo sa’)



# Dal simbolico al sub-simbolico



- Elaborazione di segnali
  - la **macchina** che realizza il *comportamento* è fondamentale
  - il modello è fondato sulla fisicità dei **segnali** e non su quella del simbolo
  - il simbolo esiste solo nell'ambito del *comportamento osservabile*
- Rappresentazione distribuita e sistemica
  - dalla atomicità della base di conoscenza  
alla distribuzione della rappresentazione nella rete neurale
  - il riconoscimento di un input (e.g. una parola)  
comporta la stimolazione di gran parte dei nodi della rete

# Influenze top-down

- Interazione tra modello cognitivo e comportamento
  - gli aspetti cognitivi possono influenzare il livello neuro-motorio
- Attenzione visiva: gli *saccades*
  - gli esseri umani effettuano piccoli movimenti a scatti con gli occhi, ad intervalli brevissimi e variabili (tipicamente ~50 msec)
  - non ne siamo consapevoli: la cosa fu studiata solo alla fine degli anni '60 [Yarbus, A., *Eye Movements and Vision*, Plenum Press, 1967]

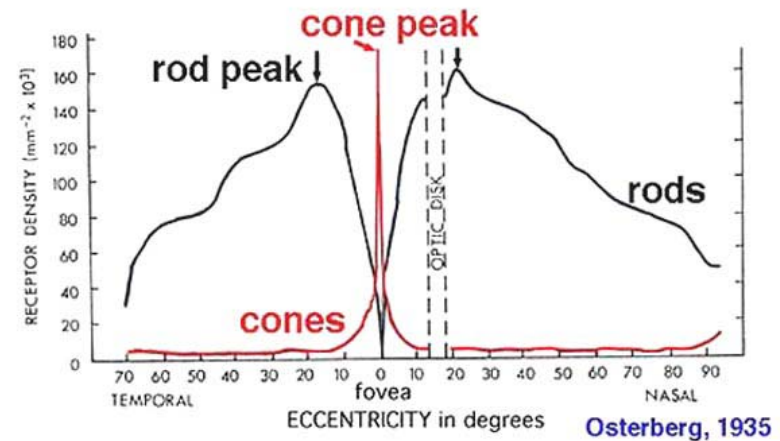
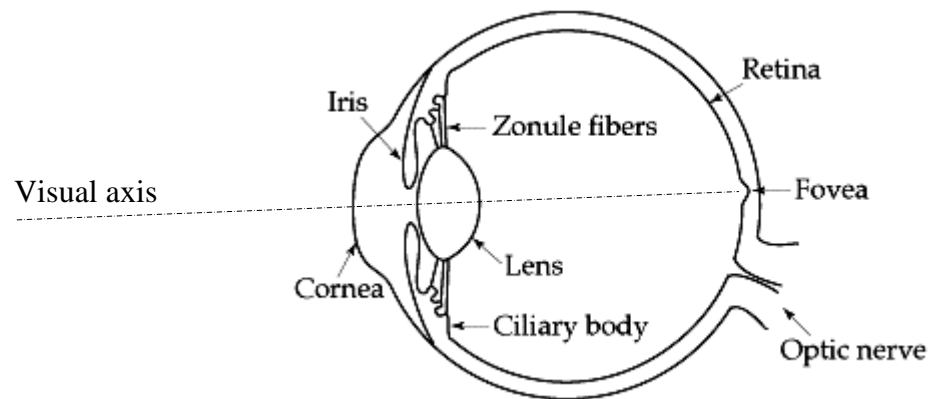
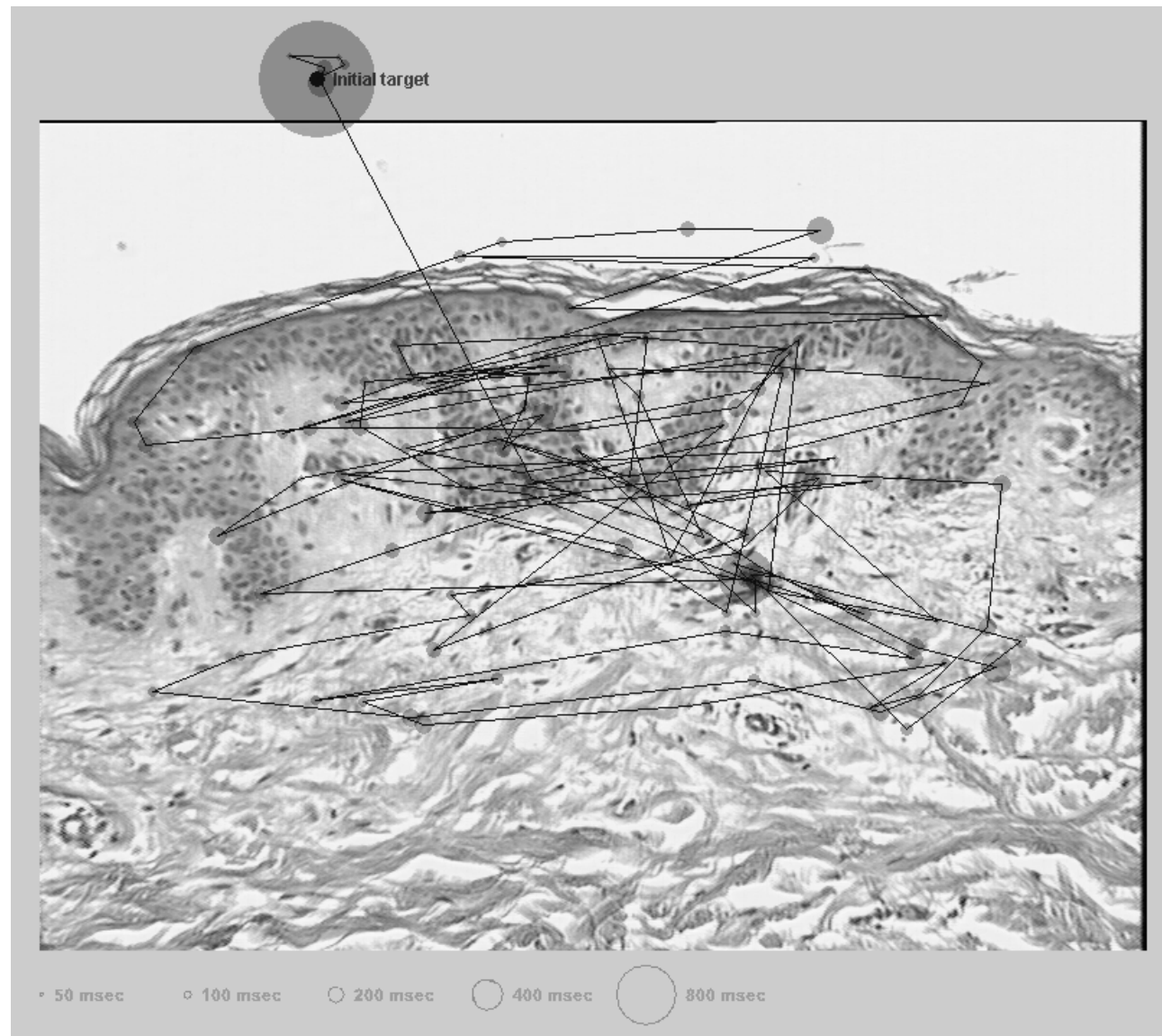
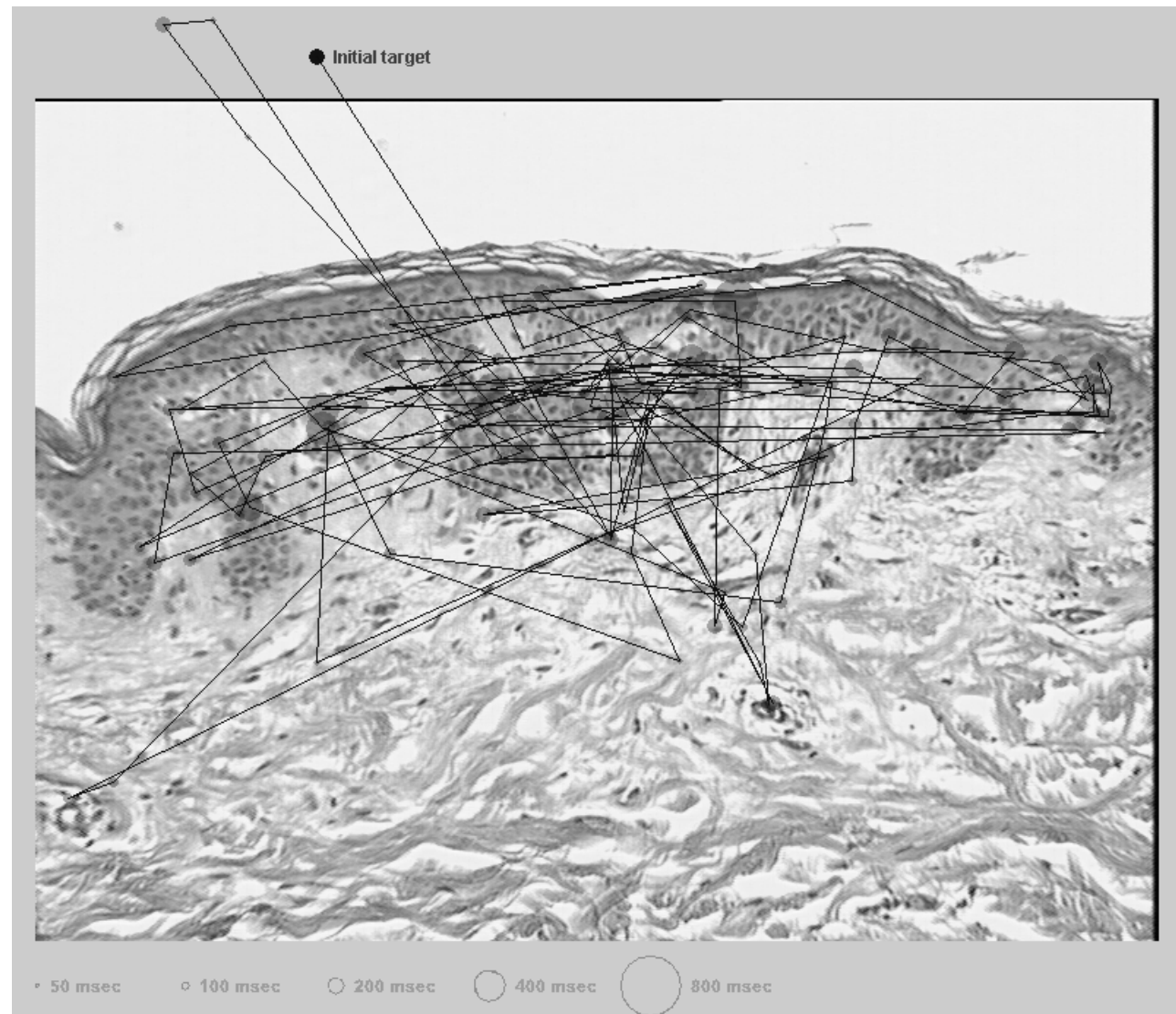


Immagine al microscopio di una sezione di cute opportunamente trattata

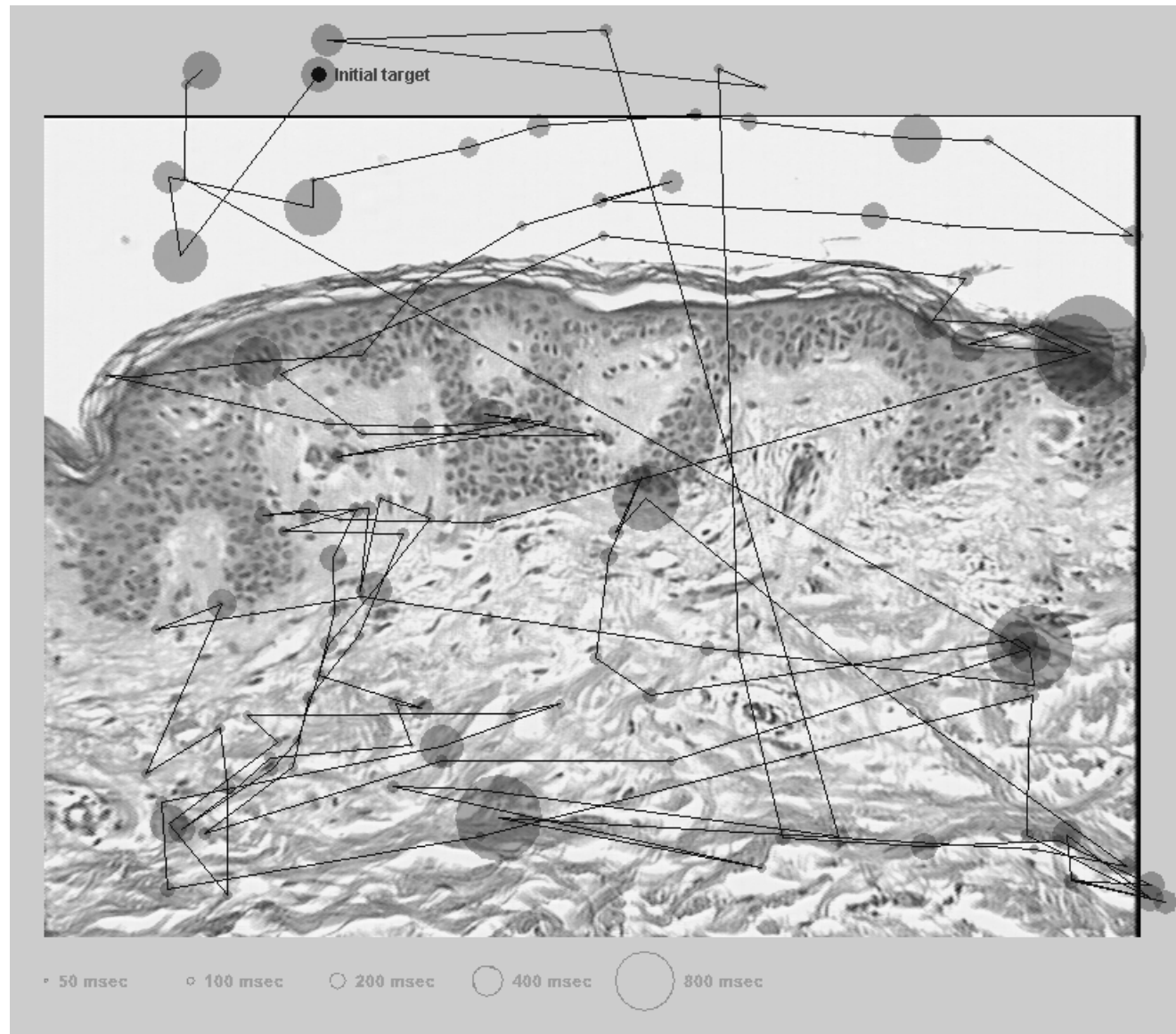
Lo scopo dell'osservazione è una *diagnosi*

Lo *scanpath* tracciato è di un giovane medico (durata: 45 sec)





Lo *scanpath* qui tracciato è di un medico molto esperto



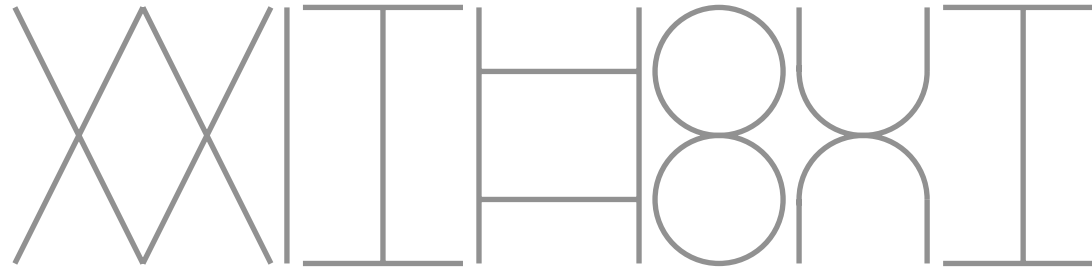
Lo *scanpath* prodotto da un ingegnere (non conosce l'argomento)

# Sistematicità

- Senza ricorrere al livello simbolico è difficile spiegare la sistematicità di molti fenomeni linguistici
  - una persona che comprende l'italiano non può comprendere
    - "Silvia ama Enrico"
  - senza al tempo stesso comprendere
    - "Enrico ama Silvia"
  - così come qualsiasi frase del tipo
    - "X ama Y"
  - dove X ed Y possono essere nomi o descrizioni definite qualsiasi
    - "L'amica di Renato ama il gatto di Paolo"

# Rappresentazioni diverse

- Fenomeni di sistematicità possono ricorrere anche tra forme di rappresentazione diverse



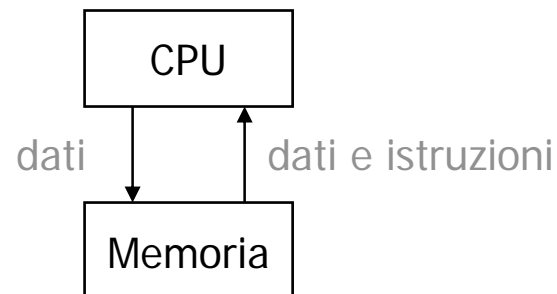
- una volta 'capito il trucco', qualsiasi forma analoga diventa immediatamente riconoscibile



# Tecniche computazionali e obiettivi

- In ambito teorico:
  - l'**intelligenza artificiale** è lo studio delle *tecniche computazionali* che permettono di descrivere (o di riprodurre) alcune facoltà cognitive umane
- In ambito industriale:
  - l'**intelligenza artificiale** è lo studio delle *tecniche computazionali* che riproducono le facoltà cognitive umane al fine di risolvere problemi pratici
- Più di recente:
  - l'**intelligenza artificiale** include in generale anche i metodi di calcolo che non sono basati sul principio delle architetture di von Neumann

Macchina  
di von Neumann



1. carica un'istruzione dalla memoria
2. carica i dati richiesti dalla memoria
3. esegui l'istruzione
4. registra il risultato in memoria
5. torna al punto 1.

# Piano del corso: logica simbolica

- Una tradizione millenaria
  - il tentativo di raggiungere un grado estremo di precisione formale nella rappresentazione del ragionamento (vedi: sistematicità)
  - già oggetto di studio nell'antica Grecia e durante tutto il medioevo
- Un tentativo di definire un 'linguaggio perfetto'
  - ovvero il 'linguaggio della scienza' (G. Frege, 1879)
  - un linguaggio senza ambiguità di significato
  - che permette di distinguere in modo meccanico i ragionamenti validi (o fondati) da quelli che non lo sono (e.g. dimostrazioni matematiche)
- Un sistema di ragionamento simbolico automatico
  - "Algorithm = Logic + Control" (Kowalski, 1979)

"Algorithm + Data Structures = Programs" (Wirth, 1975)
  - programmazione logica

# Piano del corso: probabilità

- Simboli e numeri
  - gli eventi sono *simboli*
  - il calcolo inferenziale (cioè delle derivazioni del tipo 'Giorgio è contento') si svolge nell'ambito numerico
  - (cioè nel campo sub-simbolico)
- Rappresentazione del ragionamento
  - probabilità (in questo corso) come rappresentazione del pensiero e del ragionamento
  - e non come strumento di analisi delle frequenze di occorrenza di fatti specifici (statistica)
- Probabilità e inferenza
  - domani pioverà?
  - e, se piove, andremo al cinema?

# Piano del corso: reti neurali

- La macchina, prima dei simboli
  - una rete di strutture elementari (neuroni) sostanzialmente identiche
  - una combinazione di connessioni tra neuroni
  - un sistema di *pesi* sulle connessioni e *soglie* nei neuroni
  - il comportamento osservabile:
    - è la relazione tra i segnali in input  
(o la *storia* dei segnali, se la rete ha memoria)
    - ed i segnali in output (o la *storia* di questi)
- Programmazione indiretta
  - è virtualmente impossibile programmare una rete neurale in modo diretto
  - si adottano sistemi di *apprendimento*:
    - si stimola la rete con dei segnali input prestabiliti (test set)
    - si misura la differenza rispetto ai segnali di output attesi
    - si correggono i pesi e le soglie in modo da ottenere progressivamente il comportamento voluto (sul test set)

# Piano del corso: calcolo evolutivo

- Una tecnica di ottimizzazione ispirata all'evoluzione biologica
  - si utilizzano popolazioni di individui
  - ciascun individuo rappresenta una possibile soluzione di un particolare problema (e.g. un programma o una funzione)
  - ciascun individuo possiede una struttura 'genetica' modulare e accessibile all'ambiente di calcolo evolutivo
- Sintesi per selezione
  - ciascun individuo nella popolazione viene valutato
    - si usa una funzione di fitness
    - che misura l'adeguatezza della soluzione che l'individuo rappresenta
  - l'ambiente di calcolo evolutivo seleziona le soluzioni migliori
  - e produce una nuova popolazione (generazione) ricombinando la struttura genetica degli individui selezionati
  - di generazione in generazione, la qualità delle soluzioni migliora

# Piano del corso: costruire robots

- (Esercitazioni finali)
- Robocode: un framework per i comportamenti
  - la programmazione degli aspetti fisici è ridotta all'essenziale
  - fondamentale invece è il comportamento  
(inteso come legame tra percezione ed azione)
- Tecniche diverse per la soluzione
  - rappresentazione interna e programmazione diretta  
(sistemi esperti)
  - combinazione di funzioni elementari e programmazione indiretta  
(genetic programming)