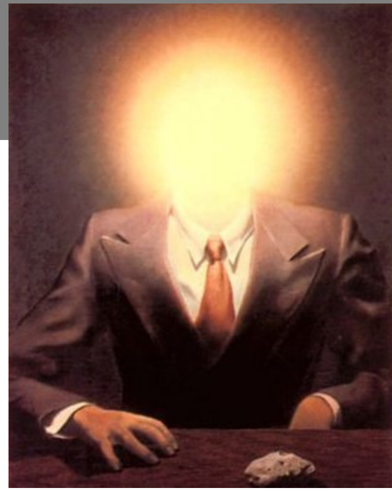
Intelligenza Artificiale II

Introduzione al corso

Marco Piastra



- Searle, J. R., *Minds, Brain and Science,* 1986

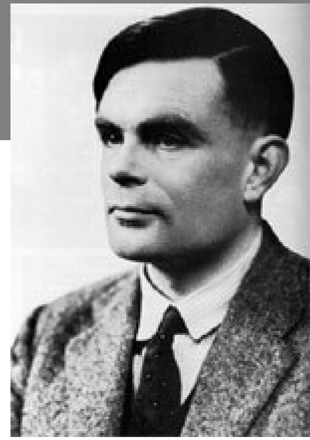
“Because we do not understand the brain very well we are constantly tempted to use the latest technology as a model for trying to understand it.

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.”

Tesi di Church-Turing



Non esiste un'unica, concisa formulazione originale:
si tratta di un concetto espresso in più passaggi
(e passibile di diverse interpretazioni)

- Una possibile formulazione (Wikipedia)

"Every 'function which would naturally be regarded as computable' can be computed by a Turing machine."

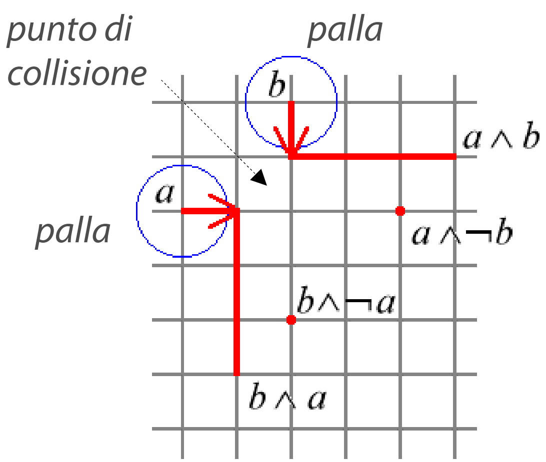
La vaghezza della formulazione ha dato luogo a diverse interpretazioni,
una molto comune (e molto discussa) può essere espressa come (D.Dennett, da Wikipedia):

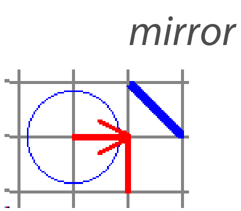
"Every 'function that could be physically computed' can be computed by a Turing machine."

" Turing Machines Everywhere"

- *Billiard Ball Model* (BBM) (Fredkin & Toffoli, 1992)
  - *Una macchina di Turing con le palle da biliardo*
    - Le palle, tutte identiche, si muovono su una griglia rettangolare, alla stessa velocità
    - Le palle sono disposte in modo da urtarsi solo per angoli retti
    - Le collisioni sono elastiche: non si perde energia
    - Si possono utilizzare dei 'mirror' per guidare il percorso delle palle

Gate logico di base



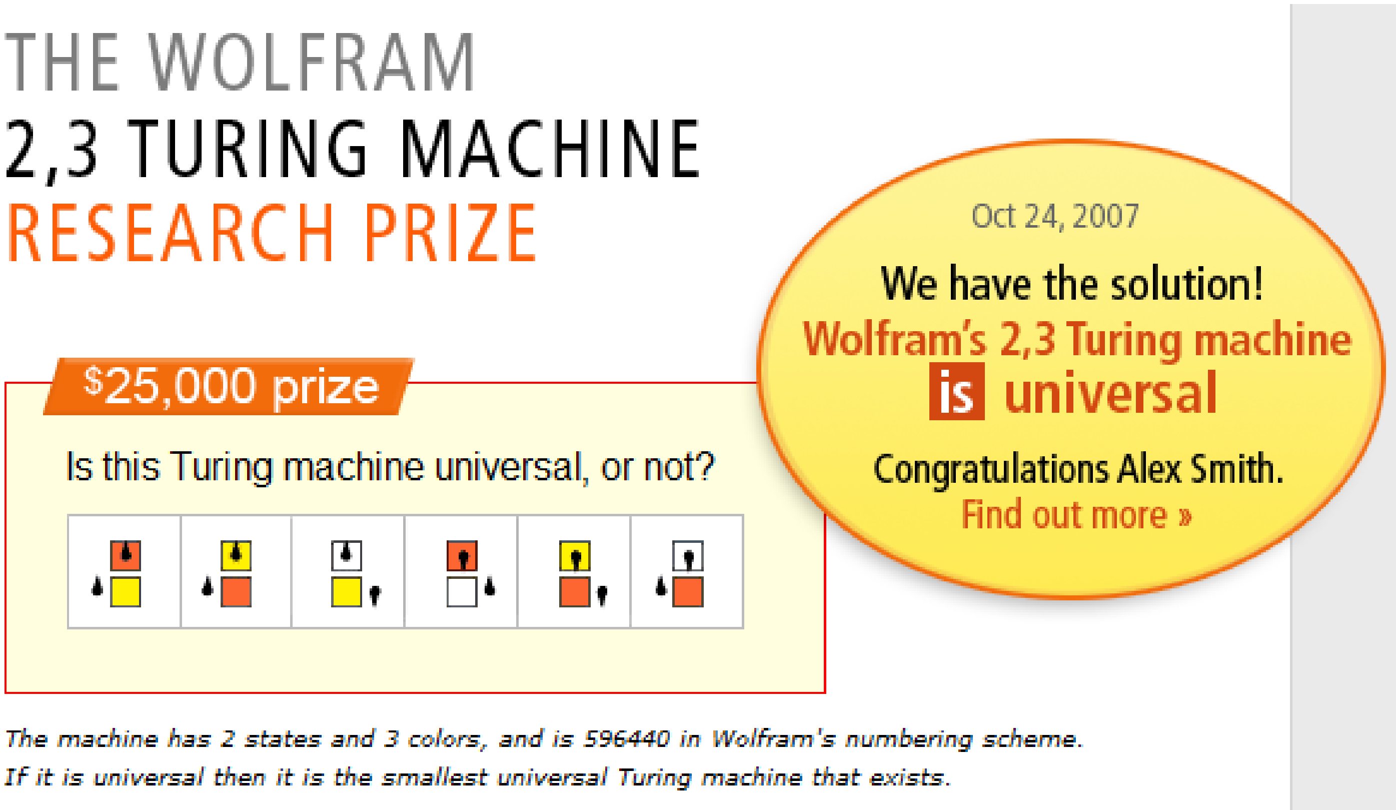


Dimostrabilmente, si può costruire una macchina di Turing universale

" Turing Machines Everywhere"

La più piccola macchina di Turing universale

Richiede solo 2 stati e 3 simboli



Searle: "… At present, obviously, the metaphor is the digital computer."

Da capo, e procediamo con ordine

Oltre la logica classica

- Per logica **classica** si intende:

  La logica predicativa del primo ordine L_{PO}

  La logica proposizionale L_P (che è contenuta, in senso proprio, in L_{PO})

- Una logica **non classica** adotta regole diverse
- Perchè?

  Per rappresentare altre forme di ragionamento

  Non solo deduttivo ma anche *abduttivo* ed *induttivo* (*vedi oltre*)

  Forme speciali, legate ad obiettivi specifici,
  come logiche modali o temporali

  Per esigenze applicative

  Frammenti (sottoinsiemi) di L_{PO}, più efficacemente automatizzabili (p.es. Jess)

Oltre la logica classica

Esempi di logiche diverse dalla logica classica

a) Estensioni in sistemi di calcolo automatico

Esempi: *assert* e *retract* in Jess,

Closed-World Assumption (CWA),

Negation As Failure (NAF) in Prolog

b) Estensioni (*non monotone*) della logica classica

Esempi: *ragionamento plausibile (defeasibile reasoning)*

c) Ragionamento non deduttivo (di tipo *plausibile*)

Esempi: ragionamento *abduttivo,* ragionamento *induttivo*

d) Rappresentazione di nozioni speciali

Esempi: logiche modali, logiche temporali

e) Estensione dei principi base della logica classica

Esempi: logiche multivalenti, *fuzzy logics,* logiche probabilistiche

Inferenza plausibile (*defeasible reasoning*)

Le inferenze *plausibili* non sono *corrette* ma solo *compatibili* con le premesse

- Nuovi schemi di ragionamento

Logica deduttiva (inferenza *corretta*)

Si derivano (solo) le conseguenze logiche delle premesse

"Tutti i fagioli del sacco sono bianchi,
questa manciata di fagioli viene dal sacco"
"I fagioli sono bianchi"

Modus Ponens

$$\frac{\varphi \rightarrow \psi \qquad \varphi}{\psi}$$

Logica induttiva (inferenza *plausibile*)

Da associazioni di fatti, si derivano regole

"Questa manciata di fagioli viene dal sacco,
i fagioli sono bianchi"
"Tutti i fagioli del sacco sono bianchi"

$$\frac{\varphi \qquad \psi}{\varphi \rightarrow \psi}$$

Logica abduttiva (inferenza *plausibile*)

Da regole ed effetti si derivano le cause

"Tutti i fagioli del sacco sono bianchi,
i fagioli sono bianchi"
"Questa manciata di fagioli viene dal sacco"

$$\frac{\varphi \rightarrow \psi \qquad \psi}{\varphi}$$

Attenzione! <u>Non</u> è il Modus Ponens

Logiche modali

- Logica modale

  Una notazione estesa per distinguere il *modo* in cui si afferma

  A = affermazione vera (p.es. "Oggi è venerdì")

  $\square A$ = affermazione vera secondo $\square$ (p.es. "$\square$ ritiene che oggi sia venerdì")

  Formule e regole di derivazione 'ad hoc'

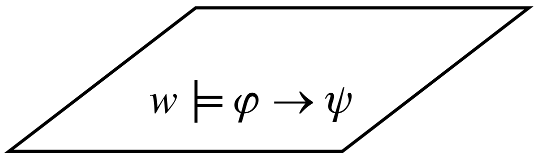
  $A \vdash \square A$ Se A è vera, allora $\square$ ritiene vera A

  $\square (A \to B), A \vdash \square B$ Se $\square$ ritiene vera $(A \to B)$ e A è vera, allora $\square$ ritiene vera B

  $\square (A \to B), A \nvdash B$ Dalle stesse premesse non è derivabile che B è vera

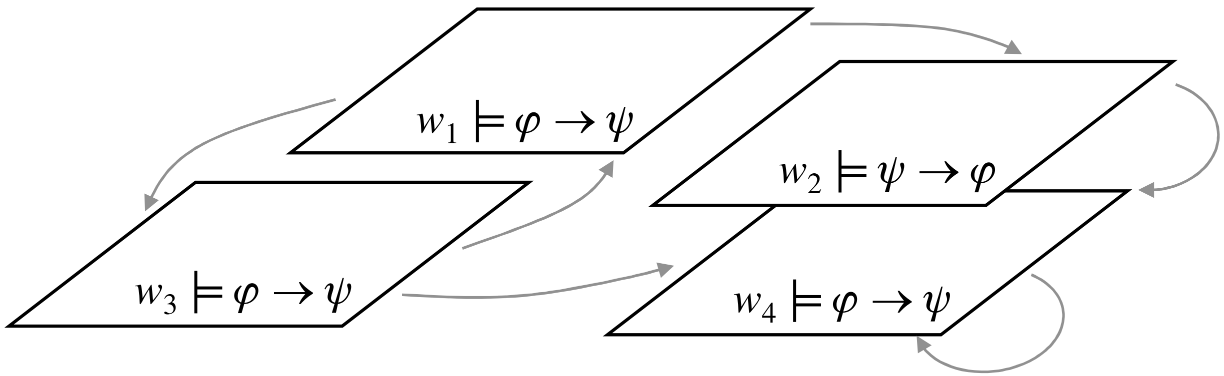
- Semantica dei mondi possibili

logica **classica**



Un modello = un mondo possibile

logica **modale**



Un modello = un <u>grafo</u> di mondi possibili

Probabilità come logica dell'incerto

- Incertezza e probabilità

  La probabilità è una rappresentazione numerica dell'incertezza

  Per sua natura, è sistemica: si riferisce ad un intero sistema di eventi

  Non è **vero-funzionale**: non esiste una funzione f tale per cui $P(A \wedge B) = f(P(A), \mathrm{P}(B))$

  I simboli A, B, C,… sono detti **variabili aleatorie**

  Si intende che il valore di tali variabili non è univocamente definito
  e può variare all'interno di un *dominio* (*range*)

  Ad esempio $A \in \{0, 1\}$ oppure $X \in [0, 1]$

  (Una variabile aleatoria può assumere un valore diverso a seconda del mondo possibile)

  I *vincoli* sui valori delle variabili aleatorie caratterizzano gli **eventi**

  Ciascun *evento* corrisponde ad un vincolo particolare

  Ad esempio $A = 0$ oppure $0 \leq X < 0{,}5$

  (Un evento coincide con l'insieme di mondi possibili in cui il vincolo è soddisfatto)

Modelli grafici

- Distribuzioni (discrete) e densità (continue) di probabilità

  La **misura di probabilità** si riferisce a tutte le possibili combinazioni di *eventi*

  Dalla **misura congiunta** è possibile calcolare la misura di eventi particolari (marginalizzazione) o sotto determinate ipotesi (condizionalizzazione)

  Una misura di probabilità si può stimare partendo dai dati (inferenza statistica)

  Nel discreto, la complessità numerica è notevole

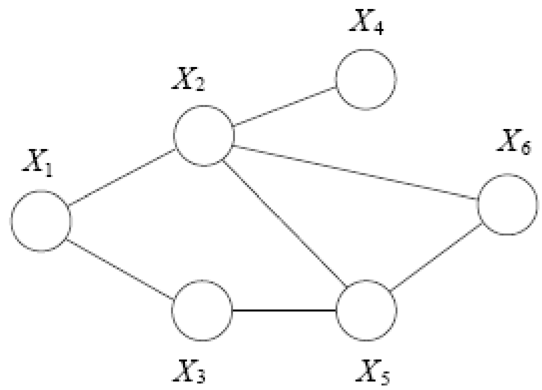
  Nel continuo si aggiunge anche la complessità analitica (*spesso il risultato non è esprimibile in forma analitica*)

- Modelli grafici

  Rappresentazione strutturata di misure di probabilità

  La struttura (grafo) descrive dipendenze tra eventi, i valori numerici completano la definizione della misura

  I modelli grafici, in generale, sono più efficacemente trattabili



Multivalenza, logiche sfumate (*fuzzy logics*)

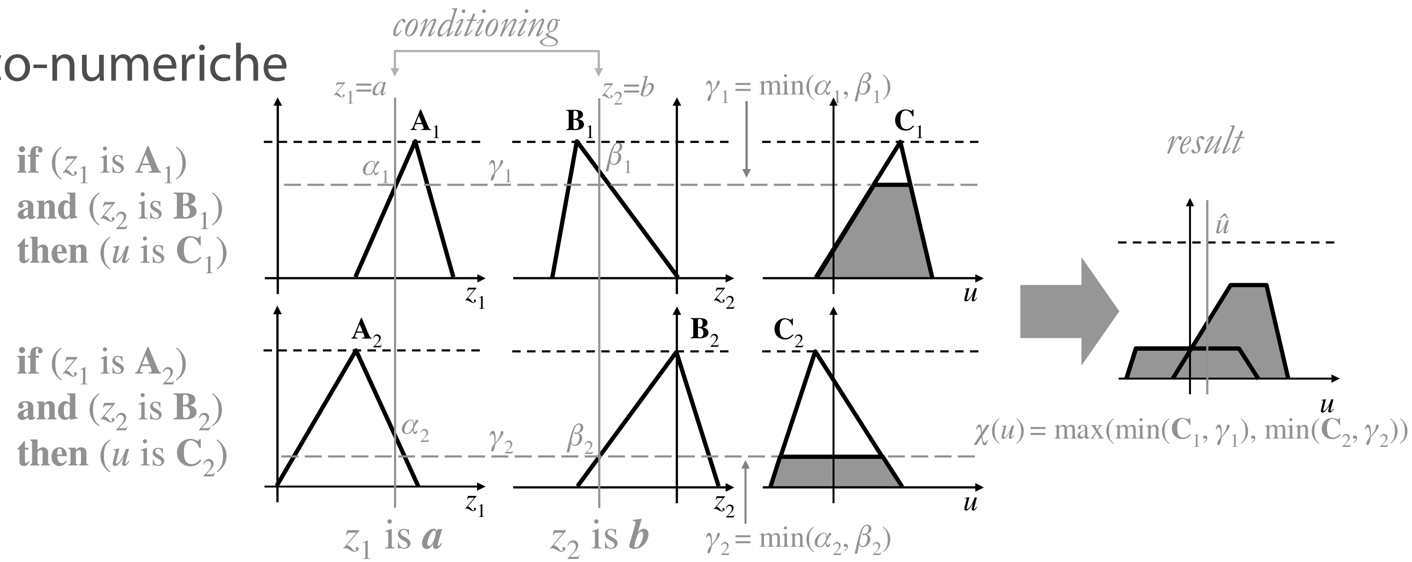
- Forme di logica su base numerica

  Si ammettono valori compresi tra 0 e 1 (intermedi, tra falsità e verità) mantenendo l'idea di associare operatori algebrici ai connettivi

  Ad esempio: $v(A \wedge B) = \min(v(A), v(B))$

- Sistemi di inferenza sfumata

  Insiemi di regole logico-numeriche



  Universal Approximators (L.X. Wang, 1992)

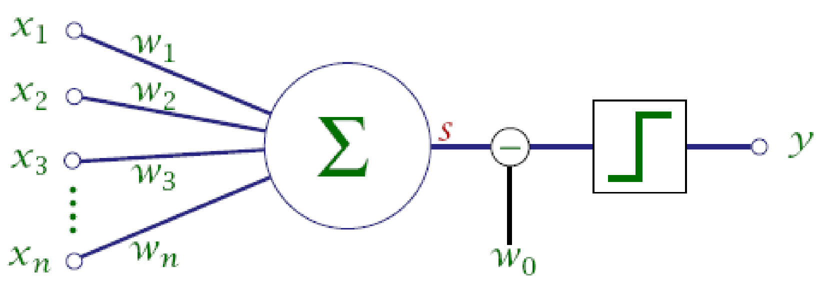
  Possono approssimare qualsiasi funzione continua

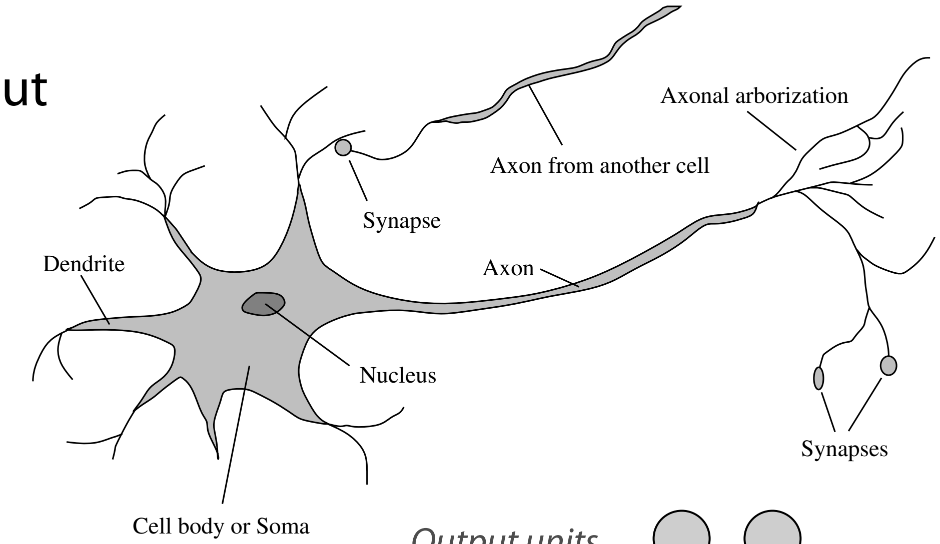
  Costruzione modulare, combinazione per interpolazione

Reti neurali artificiali

- Elaborazione numerica

  Si basa sulla propagazione dei segnali attraverso la rete, a partire dalle unità di input





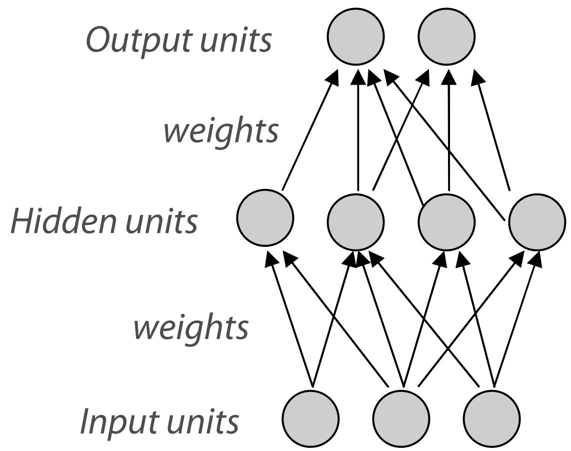
- Apprendimento supervisionato (*backpropagation*)

  Le reti apprendono le configurazioni dei pesi a partire da *test case* (input + output) noti a priori

  Universal Approximators (Hornik et al., 1989)

  Possono approssimare qualsiasi funzione continua

  Basta un solo livello di *hidden units*

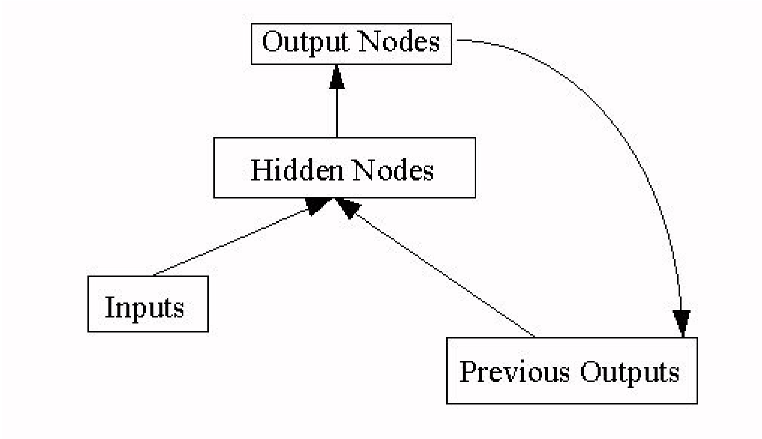


Reti neurali ricorsive (*feedback*)

- Le reti neurali ricorsive sono **macchine da calcolo complete**

  Il feedback include unità di memoria nel tempo
  (il requisito minimo è avere delle *delay unit*)

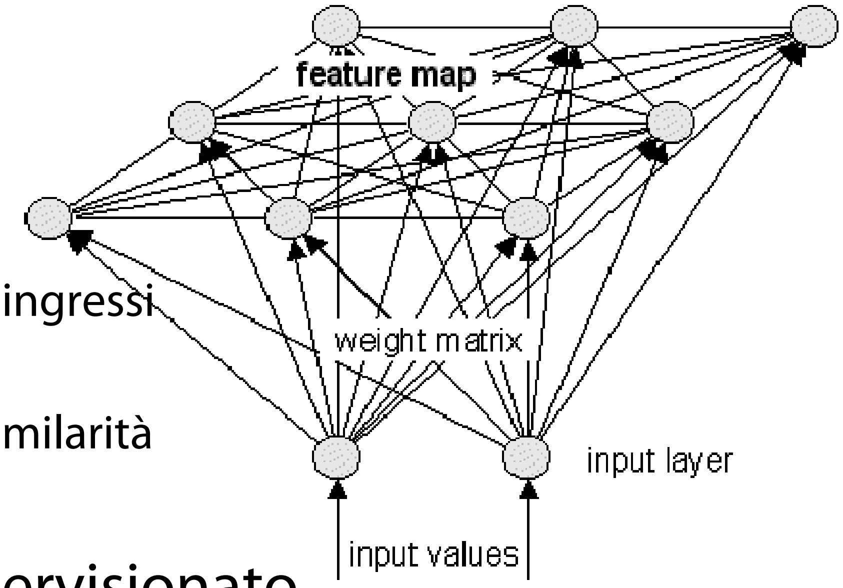
  Possono realizzare macchine di Turing universali
  (Hyötyniemi, H., 1996)



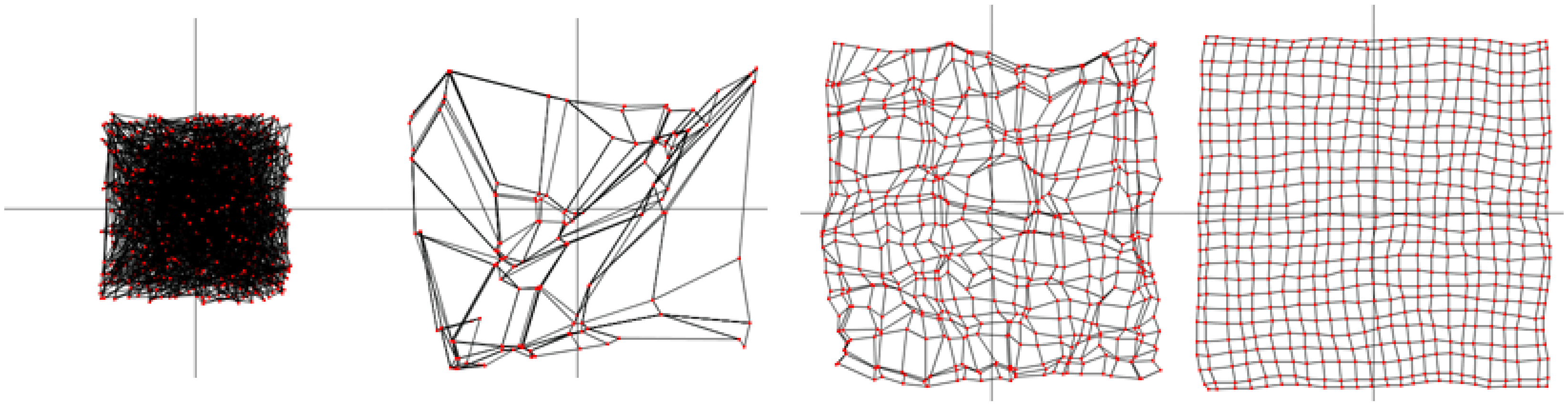
  Non si conosce un metodo generale di apprendimento
  per le reti neurali ricorsive

Self-organizing maps (SOM) Kohonen, T., 1995

- Struttura (tipica) a due livelli
  - Livello di mappa, con unità organizzate secondo una topologia prestabilita
  - Livello di input, o ingressi
  - Il livello di mappa è completamente connesso agli ingressi
  - Le connessioni hanno un peso associato
  - Gli input modificano i pesi secondo un criterio di similarità



- Adattamento (apprendimento?) non supervisionato
  - Le SOM si adattano progressivamente alla topologia del segnale in input



Self-organizing maps ed altre strutture adattative

- Demo

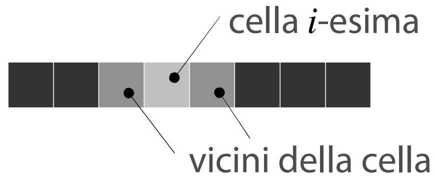
  http://www.neuroinformatik.ruhr-uni-bochum.de/ini/VDM/research/gsn/DemoGNG/SOM.html

  http://www.neuroinformatik.ruhr-uni-bochum.de/ini/VDM/research/gsn/DemoGNG/GNG.html

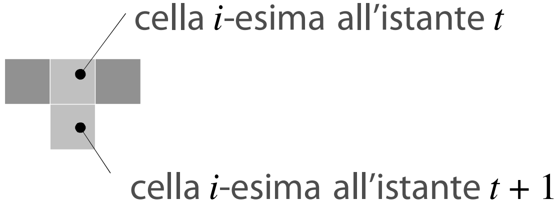
Automi cellulari (*cellular automaton, CA*)

- Sistemi distribuiti e di calcolo parallelo
  - In ogni istante, ciascuna **cella** si trova in un determinato **stato**
    - Sono dati N stati possibili (minimo 2, ovviamente)
  - Ogni cella è connessa ad un certo numero di **vicini** (*neighbors*)
  - La **transizione di stato** dipende dallo stato attuale e lo stato dei vicini
    - Il processo è definito da regole
    - Ciascuna cella opera in parallelo (in modalità sincrona)

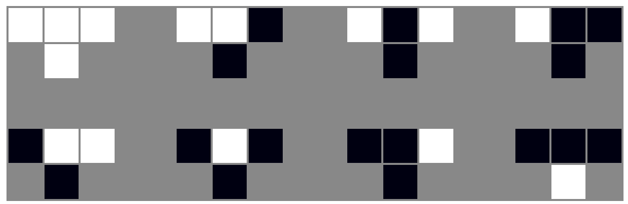
  Esempio
    - Un vettore di celle (automa unidimensionale)
    - 2 possibili stati, 8 possibili regole di transizione



Regola di transizione



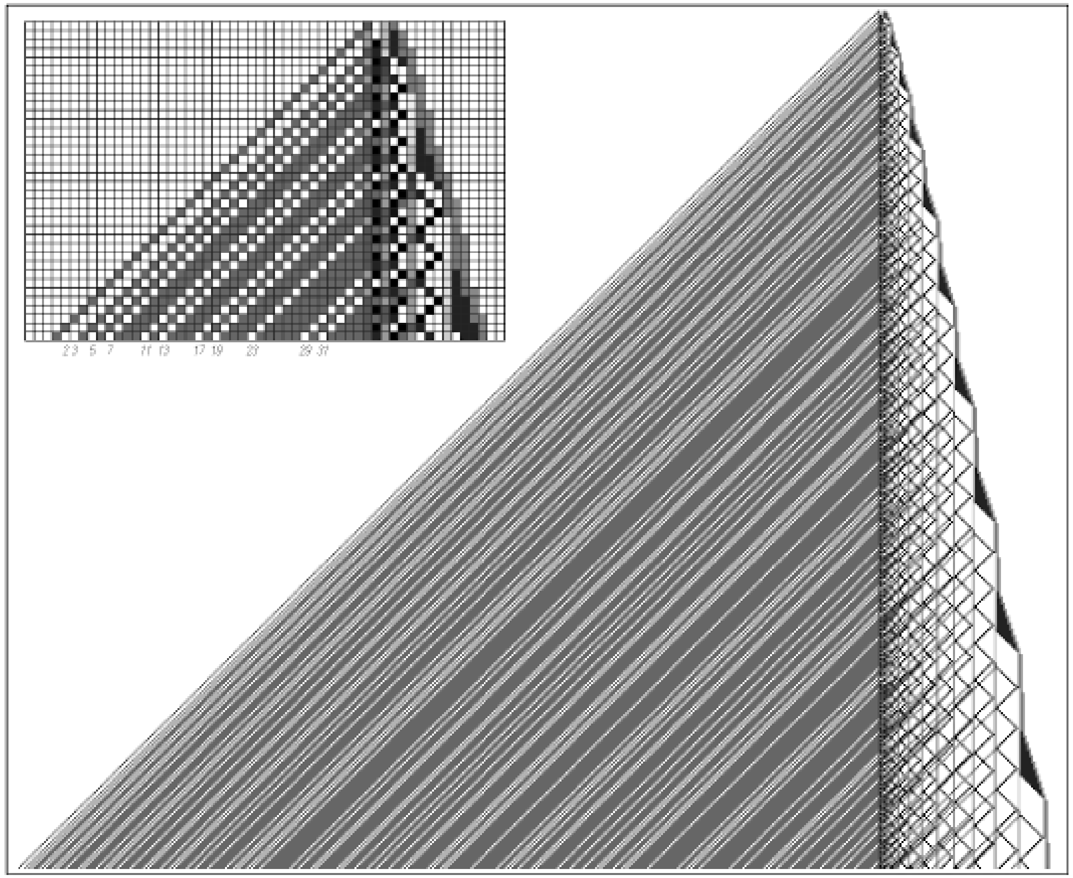
8 regole possibili ($N = 2$)



- Demo
  - http://math.hws.edu/xJava/CA/

Automi cellulari come macchine di Turing

- Gli automi cellulari sono modelli di calcolo
  - Data una configurazione iniziale ed un'opportuno set di regole, un CA unidimensionale può calcolare qualsiasi funzione
  - Esempio (Wolfram, 2002)
    - Il sistema in figura calcola i numeri primi
      - Regione triangolare di sinistra
      - Le caselle grigie sono multipli di un $n \geq 2$
      - I 'buchi' bianchi sono numeri primi
        - Il 'risultato' si sposta progressivamente a sinistra

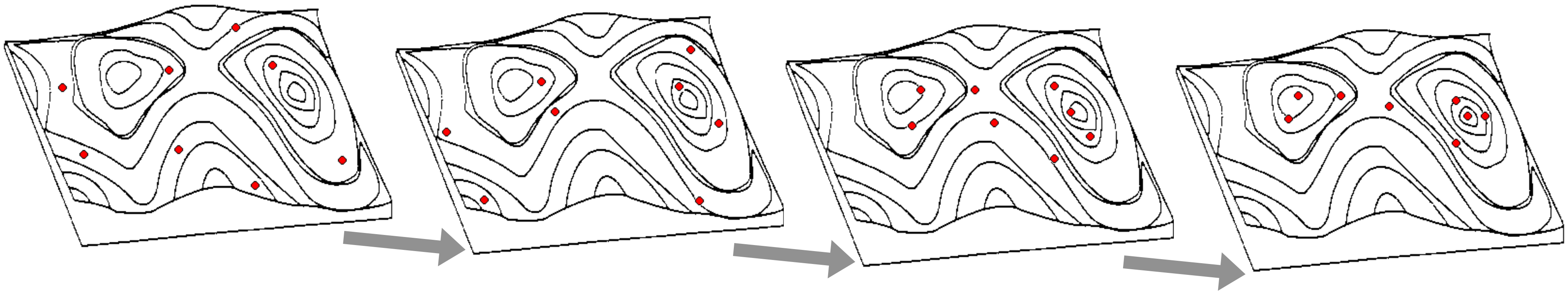


- *Universal Cellular Automaton* (Wolfram, 2002)
  - Un automa cellulare che può simulare qualsiasi altro automa cellulare

Calcolo evolutivo

- Idea intuitiva: evoluzione di una popolazione
  - Una funzione obiettivo (*fitness*) da ottimizzare
  - Una popolazione di campioni (punti nel dominio della funzione)
  - Operatori di ricampionamento: nuovi campioni da uno (o più) campioni esistenti
  - Selezione casuale della popolazione guidata dalla *fitness*:
    - Si scelgono campioni a caso, *preferendo* i campioni a *fitness* più elevata
    - I campioni prescelti vengono ricampionati e costituiscono una nuova generazione
    - (la prima generazione è generata in maniera completamente casuale)

- Gradualmente, la popolazione migra verso i massimi della *fitness*



GA, EP e GP

Fondamentale è l'idea che il ricampionamento utilizzi **parti** della **rappresentazione** del campione selezionato (come fosse il DNA di un campione ..)

- Genetic Algorithms (GA)

  Dominio: vettori di numeri

  Ricampionamento: mutazione di una cella, ricombinazione di due vettori

  Applicazione tipica: insiemi di parametri, associazioni, regole

- Evolutionary Programming (GA)

  Dominio: grafi

  Ricampionamento: modifica di una grafo, ricombinazione di due grafi

  Applicazione: automi a stati finiti, reti neurali, circuiti

- Genetic Programming (GP)

  Dominio: strutture ad albero

  Ricampionamento: mutazione per ricostruzione, ricombinazione di due alberi

  Applicazione: programmi, espressioni analitiche

GA, EP e GP

- Demo
  - http://alphard.ethz.ch/gerber/approx/default.html