

# *Intelligenza Artificiale II*

## Introduzione al corso

Marco Piastra



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

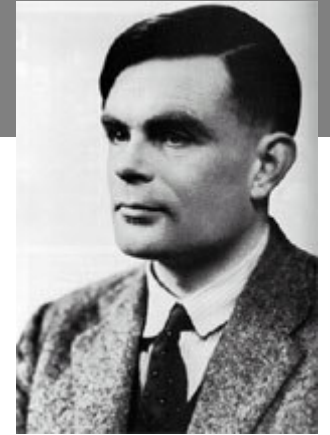
“Because we do not understand the brain very well we are constantly tempted to use the latest technology as a model for trying to understand it.

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*

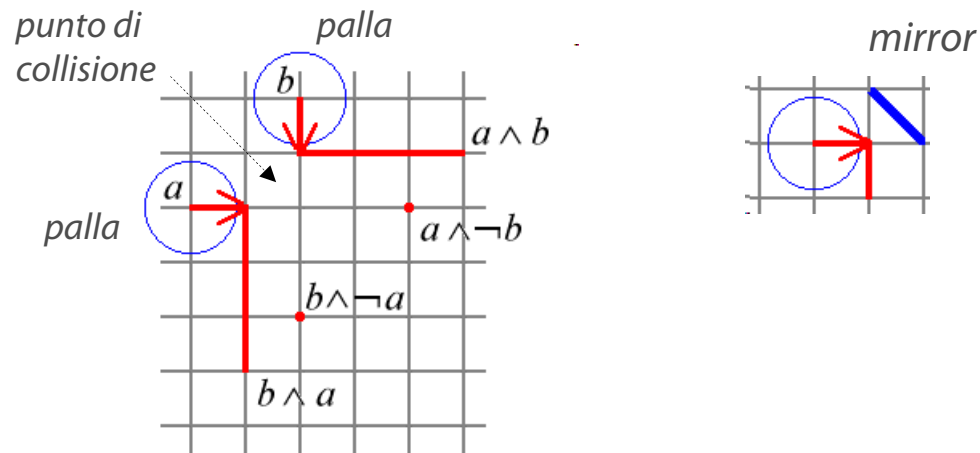
Le palle, tutte identiche, si muovono su una griglia rettangolare, alla stessa velocità

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*

## THE WOLFRAM 2,3 TURING MACHINE RESEARCH PRIZE

**\$25,000 prize**

Is this Turing machine universal, or not?



*The machine has 2 states and 3 colors, and is 596440 in Wolfram's numbering scheme.  
If it is universal then it is the smallest universal Turing machine that exists.*

Oct 24, 2007

We have the solution!  
Wolfram's 2,3 Turing machine  
**is** universal

Congratulations Alex Smith.  
[Find out more »](#)

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

- Perché?

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

### *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”

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

### *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”

$\frac{\varphi \rightarrow \psi \quad \psi}{\varphi}$  *Attenzione!*  
*Non 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")

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

Formule e regole di derivazione 'ad hoc'

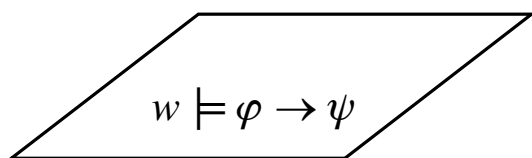
$A \vdash \Box A$  Se  $A$  è vera, allora  $\Box$  ritiene vera  $A$

$\Box (A \rightarrow B), A \vdash \Box B$  Se  $\Box$  ritiene vera  $(A \rightarrow B)$  e  $A$  è vera, allora  $\Box$  ritiene vera  $B$

$\Box (A \rightarrow B), A \not\vdash B$  Dalle stesse premesse non è derivabile che  $B$  è vera

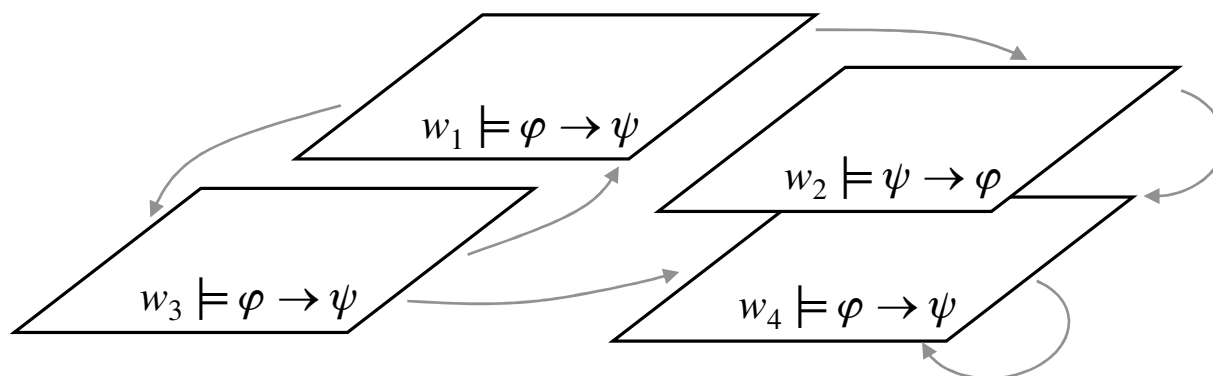
## ■ Semantica dei mondi possibili

logica **classica**



Un modello = un mondo possibile

logica **modale**



Un modello = un grafo 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  $P(A \wedge B) = f(P(A), P(B))$

### I simboli $A, B, C, \dots$ 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

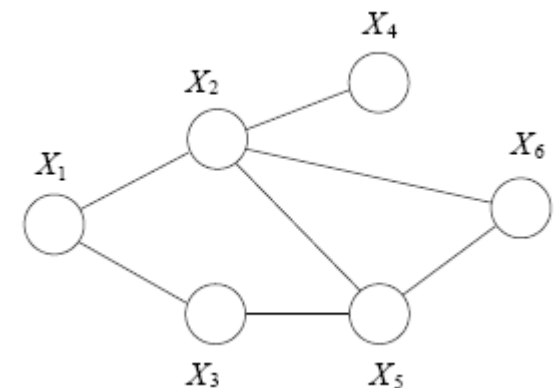
Nel continuo si aggiunge anche la complessità analitica  
(*spesso il risultato non è esprimibile in forma analitica*)

## ■ 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*)

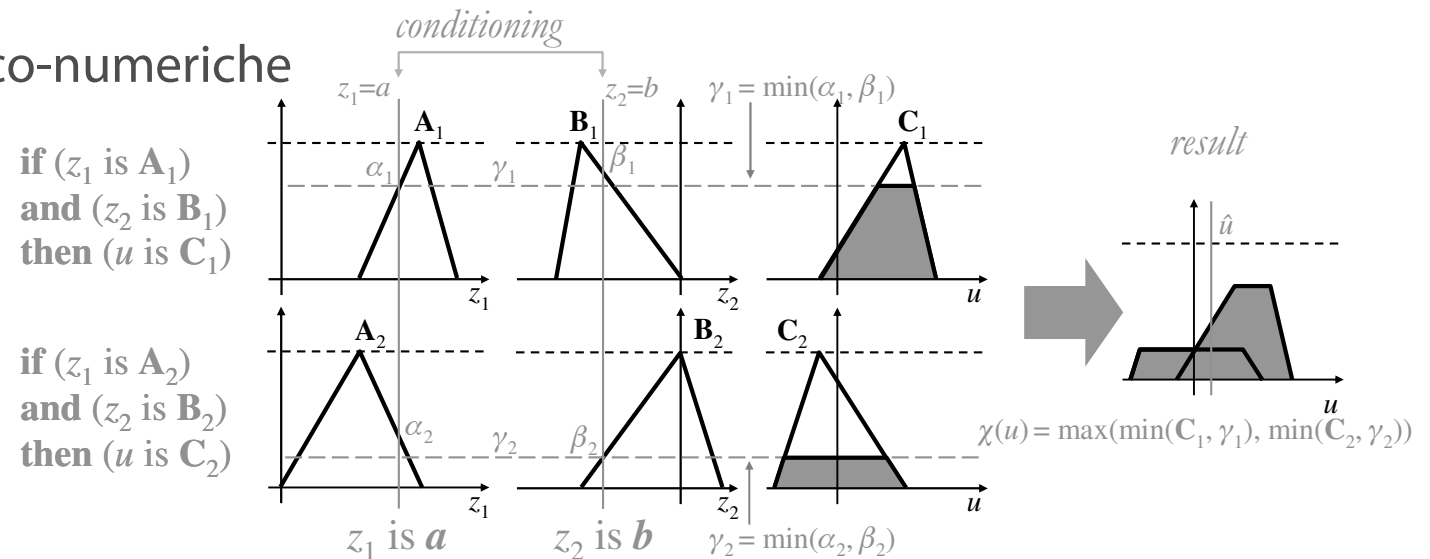
## ■ Forme di logica su base numerica

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)

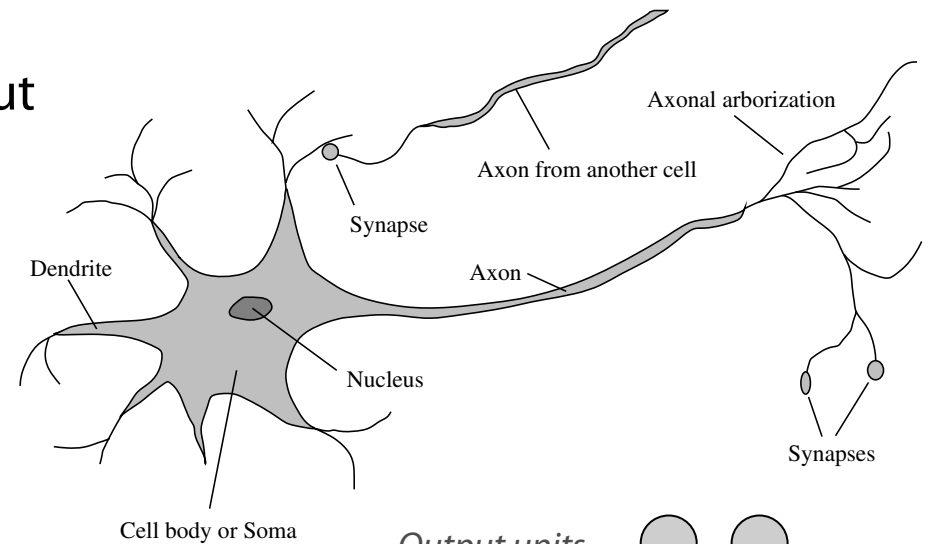
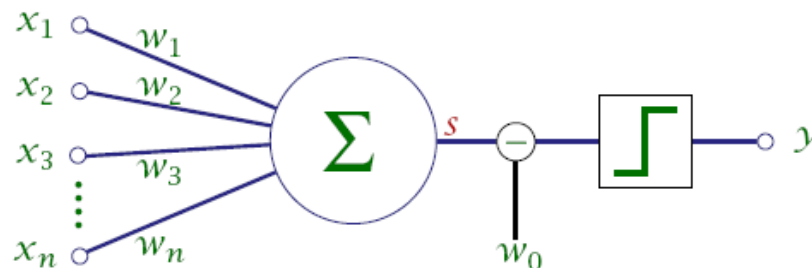
Possono approssimare qualsiasi funzione continua

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



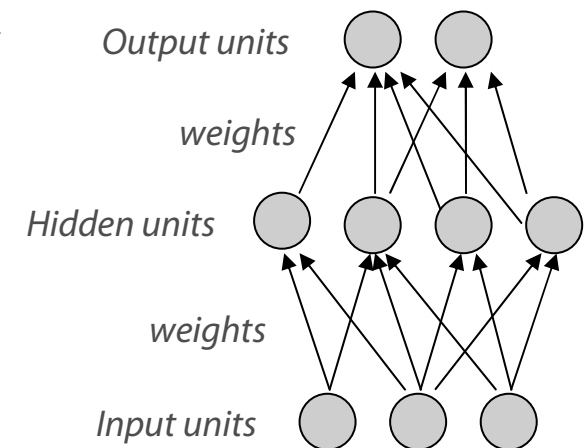
## ■ Apprendimento supervisionato (backpropagation)

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*

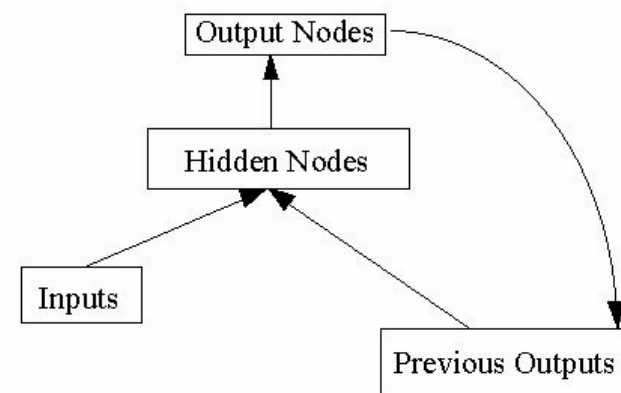


# Reti neurali ricorsive (*feedback*)

- 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

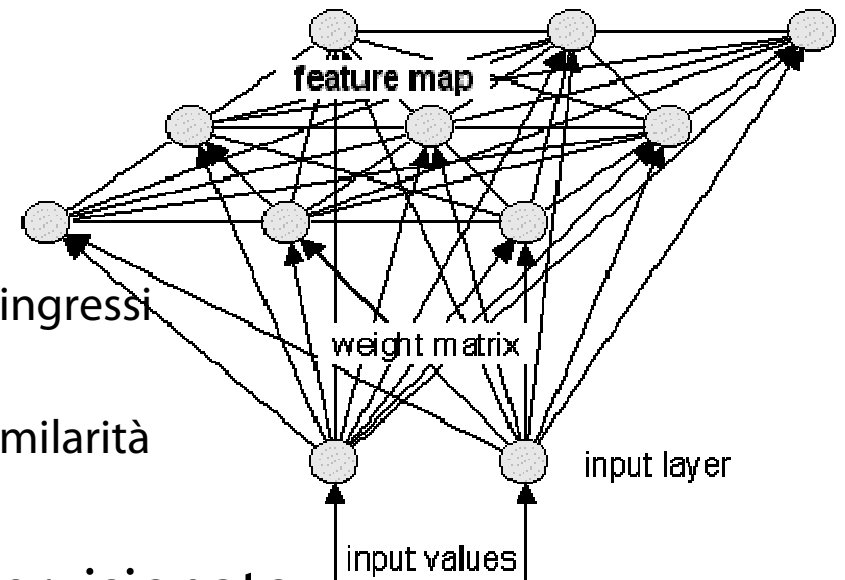
Livello di mappa, con unità organizzate secondo una topologia prestabilita

Livello di input, o ingressi

Il livello di mappa è completamente connesso agli ingressi

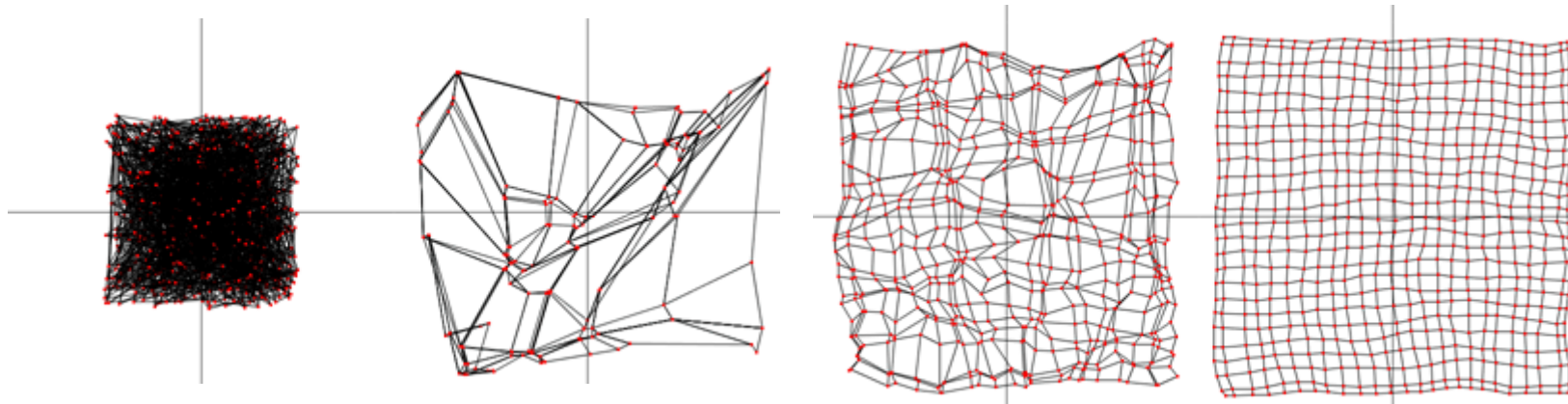
Le connessioni hanno un peso associato

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>

# Automati 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

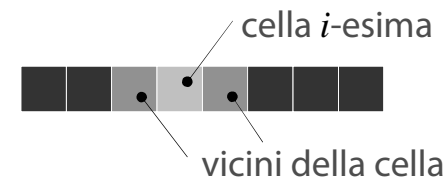
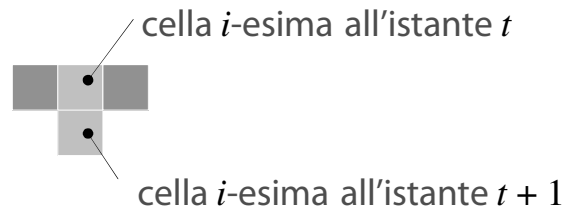
Ciascuna cella opera in parallelo (in modalità sincrona)

## 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/>

# Automati cellulari come macchine di Turing

- **Gli automati 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)

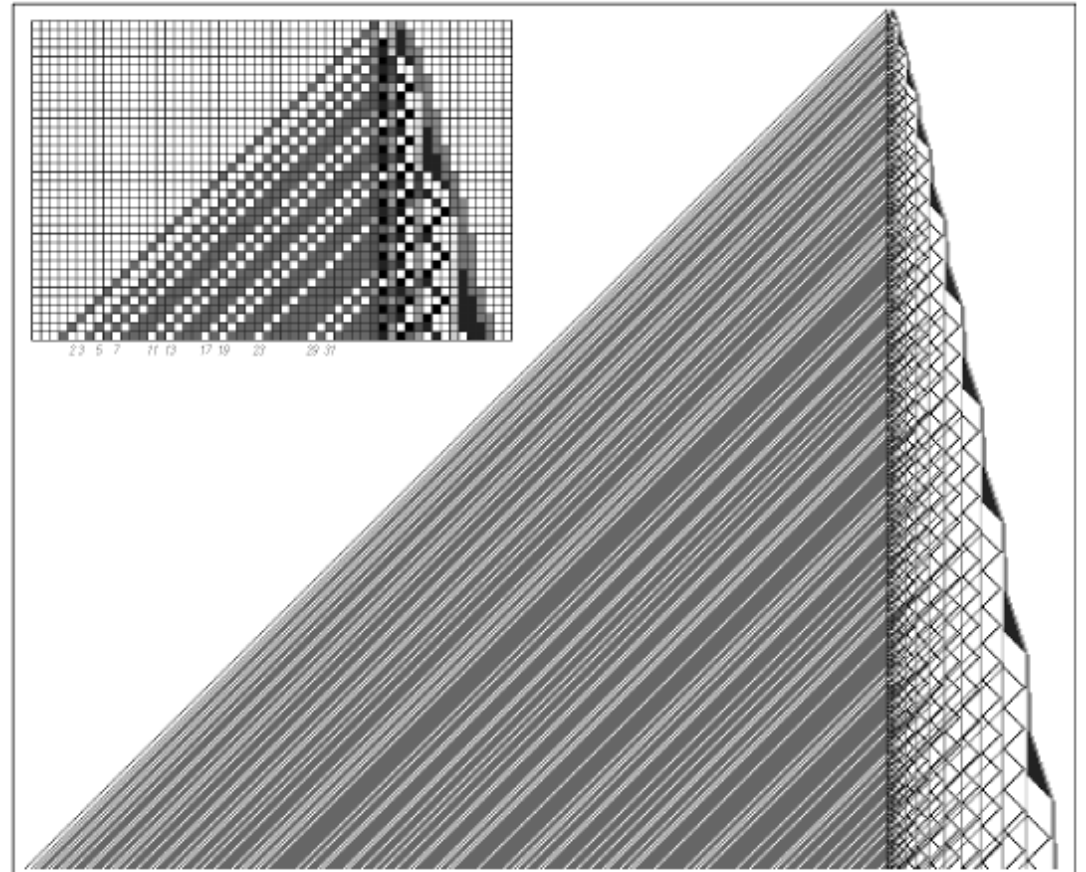
Il sistema in figura calcola i numeri primi

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

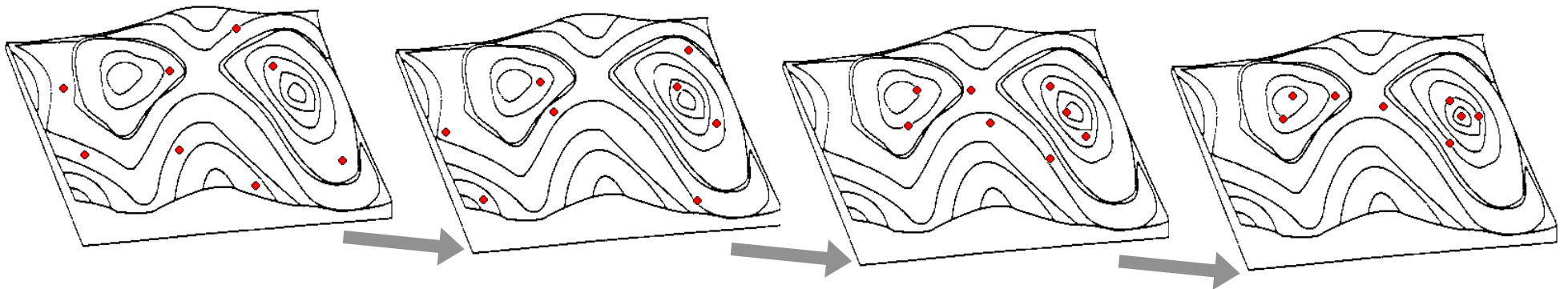
Selezione casuale della popolazione guidata dalla *fitness*:

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>