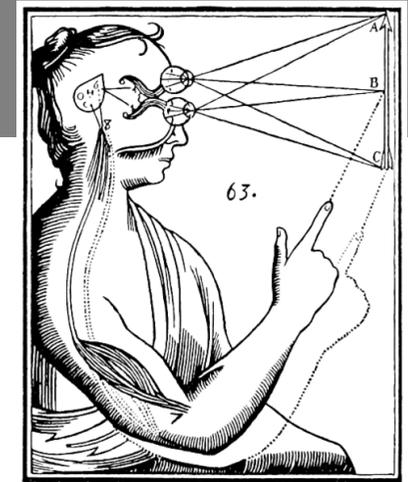


# *Intelligenza Artificiale I*

## Introduzione al corso

Marco Piastra

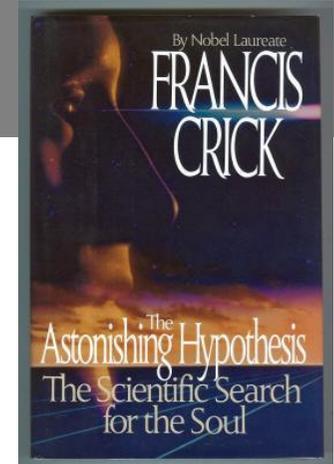


(Immagini da Wikipedia)

- Descartes, R., *Discours de la Methode*, 1637

“avevo descritto l'**anima razionale**, e fatto vedere che in nessun modo può derivare dalla potenza della materia [...] ma che deve essere creata appositamente;

e avevo mostrato come non basti che sia posta nel corpo umano, come un pilota nella sua nave, se non forse per muovere le sue membra, ma che bisogna che sia congiunta e unita ad esso ancor più strettamente, perché, oltre a tutto questo, possa provare sentimenti ed appetiti simili ai nostri e costituire in tal modo un vero uomo.”

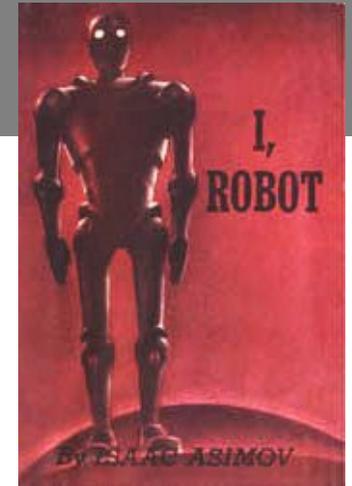


(Immagini da Wikipedia)

- Crick, F., *The Astonishing Hypothesis*, 1994

“You, your joys and your sorrows, your memories and your ambitions, your sense of personal identity and free will, are in fact no more than the behavior of a vast assembly of nerve cell and their associated molecules.”

# "Artificial Intelligence" (prima apparizione del termine)



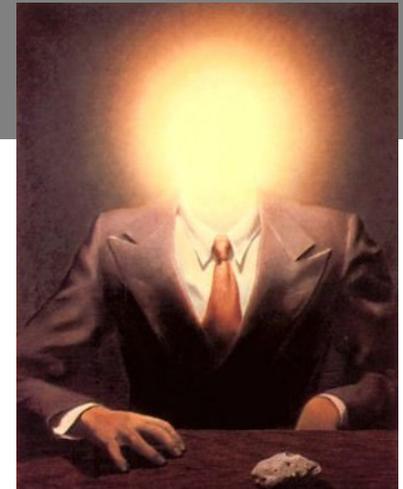
(Immagini da Wikipedia)

- John McCarthy et al., 1955

“We propose that a two-month, ten man study of **artificial intelligence** carried out during the summer of 1956 [...]

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. [...]

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



(Immagini da Wikipedia)

- 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.”

# Macchina di Turing (A. Turing, 1937)

- Un modello astratto per il calcolo effettivo

Un **nastro** con celle elementari, un **simbolo** in ogni cella

Una **testina** di lettura e scrittura delle celle, può **muoversi**

Uno **stato** della macchina (un **simbolo**)

Una CPU, governata da una **tavola di transizione**

{  $\langle \text{stato attuale}, \text{lettura cella} \rangle \rightarrow \langle \text{nuovo stato}, \text{scrittura cella}, \text{movimento} \rangle$  }

La CPU è un automa a stati finiti (*finite state machine*)

L'input è il contenuto della cella

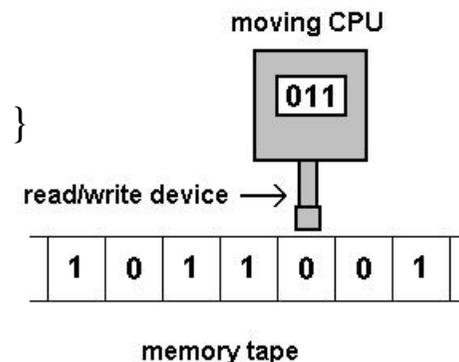
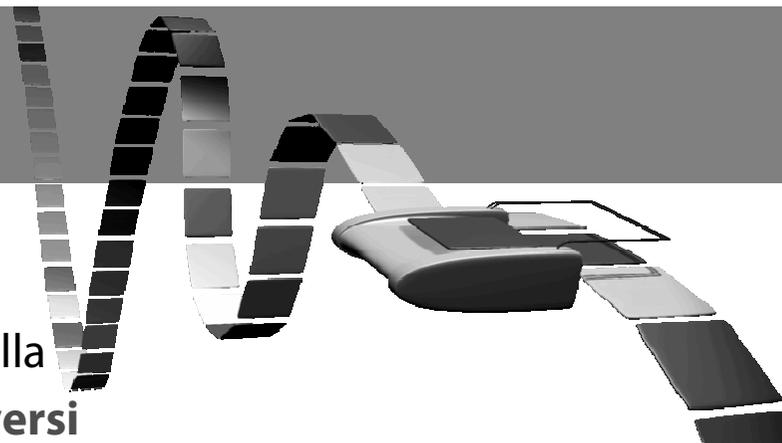
L'output è il nuovo contenuto della cella e il movimento

La macchina si ferma se non trova nella tabella una entry con chiave  $\langle \text{stato attuale}, \text{lettura cella} \rangle$

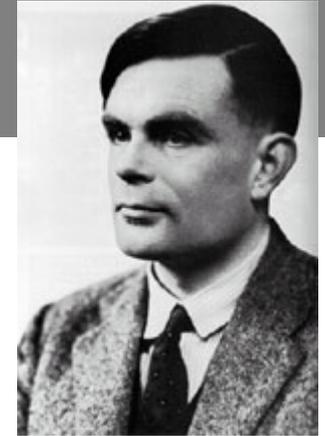
- Un punto di riferimento per la calcolabilità automatica

Qualunque **funzione** sia calcolabile da un computer,  
è calcolabile da una macchina di Turing

L'unica 'licenza' rispetto ad una macchina fisica è il nastro di lunghezza illimitata



# Tesi di Church-Turing



*Non esiste un'unica, concisa formulazione originale:  
si tratta di un concetto espresso in più passaggi,  
da integrare con risultati teorici*

- 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 (non del tutto equivalente) può essere espressa come in (Wikipedia):*

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

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

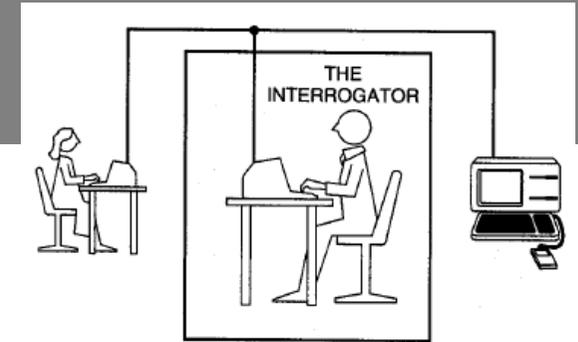


(Immagini da Wikipedia)

- *“The Genesis Tub”, The Simpsons’ - ottava stagione, 1996*

“Lisa performs a science experiment to see if cola will dissolve a tooth [...]. The tooth was also shocked and it undergoes an unusual reaction and creates a race of miniature beings. Lisa discovers this the next day and marvels at how the people in her universe evolve at a rapid rate, going through the various ages humans have gone through into modern times and eventually, a society more advanced than current humanity.” (wikipedia)

# Thinking Machines? (Il test di Turing)



(Immagine da Wikipedia)

- Turing, A., *Computing Machinery and Intelligence*, 1950

“[...] 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. [...]

We now ask the question,

‘What will happen when a machine takes the part of A in this game?’

Will the interrogator decide wrongly as often when the game is played like this as he does when the game is played between a man and a woman?

These questions replace our original, ‘Can machines think?’ ”

# Deep Blue

Nel 1945 A. Turing cita il gioco degli scacchi come un esempio di un'attività che le macchine potrebbero un giorno svolgere

Nel 1946 A. Turing definisce il primo algoritmo per il gioco degli scacchi

Nel 1997 il sistema *Deep Blue* di IBM batte l'allora campione mondiale Gary Kasparov



(Immagini da Wikipedia)

- **Deep Blue, 1997** (Campbell, M., Hoane, A. J., Hsu, F., 2001)

- 30 processori convenzionali (120Mhz) + 480 processori speciali ('chess search engines', ciascuno valuta 2.5M mosse al secondo)

- Il gioco degli scacchi ammette circa 30 mosse legittime, con 1000 diramazioni in media ad ogni mossa e contromossa

- Architettura hardware a tre livelli, 30 GB di RAM complessiva

- Funzione di valutazione* delle configurazioni in hardware, software in C

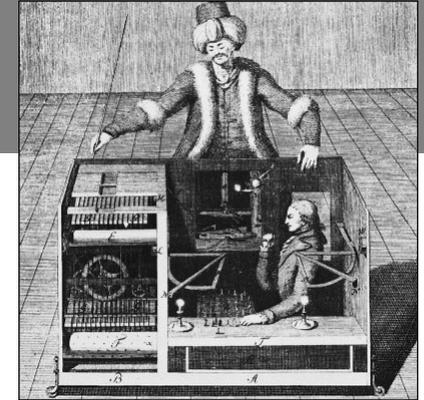
- Utilizzo di un ampio database di partite di grandi maestri (umani)

- Domande:

- Deep Blue è intelligente?

- Deep Blue *si comporta* in modo intelligente?

# Can machines play chess?



(Immagini da Wikipedia)

## ■ L'analisi di Shannon (1948)

Il gioco in cifre

Più di  $10^{43}$  diverse configurazioni valide dei pezzi sulla scacchiera

Più di  $10^{120}$  partite possibili

### Strategia di gioco A

Si definisce una *funzione di valutazione*  $f(C)$  che assegna un valore intero ad ogni configurazione della scacchiera (p.es. positivo se favorevole al nero, negativo altrimenti)

La macchina calcola la mossa migliore con il metodo del *minimax* (vedi oltre)

... che comporta il calcolo e la valutazione di tutte le possibili varianti della partita

### Strategia di gioco B

Deriva dall'analisi del gioco umano (De Groot, 1946)

"He showed various typical positions to chess masters and asked them to decide on the best move, describing aloud their analyses of the positions as they thought them through.

[...] the chess master examined sixteen variations, ranging in depth from 1/2 (one Black move) to 4-1/2 (five Black and four White) moves. The total number of positions considered was 44."

Si selezionano e si valutano solo le varianti più significative

La scelta avviene per riconoscimento di schemi (*pattern recognition*)

# Strategia "A": *minimax*

Due giocatori: MAX  $\blacktriangle$  (la macchina) e MIN  $\blacktriangledown$  (l'avversario)

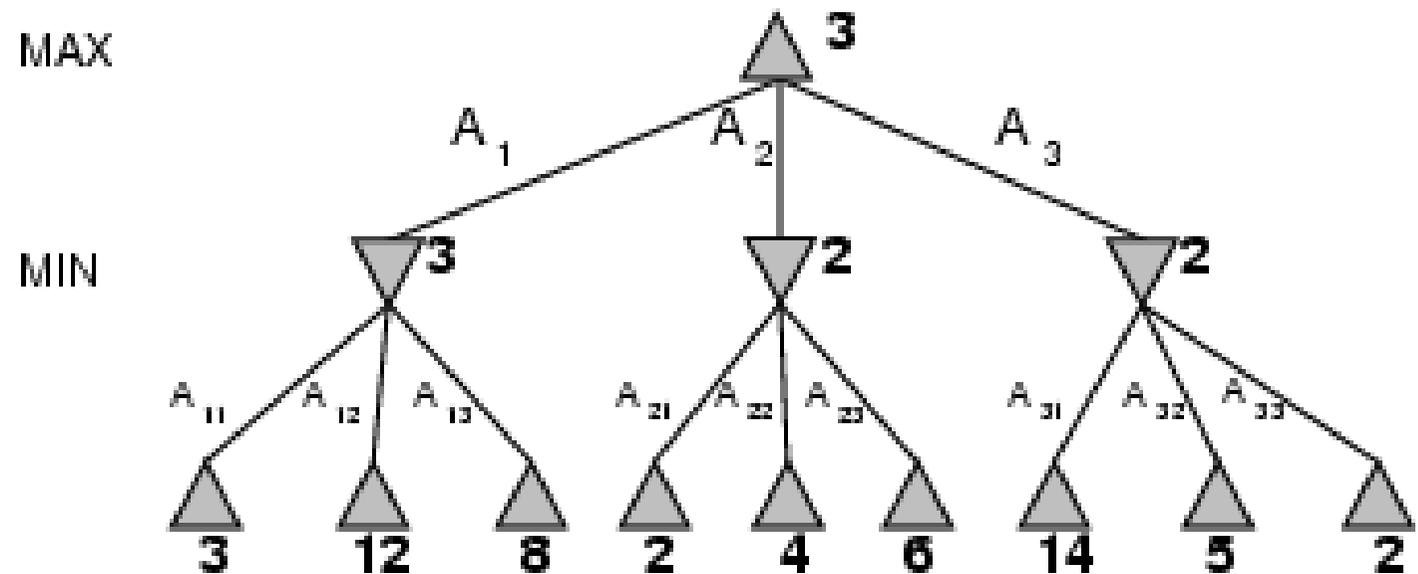
Struttura ad albero: ogni nodo una configurazione della scacchiera.

Uno dei due muove, ogni arco descrive una mossa.

L'albero descrive tutte le possibili varianti della partita

Funzione di valutazione  $f(C)$ : si applica ai nodi dell'albero, descrive il vantaggio.

E' importante "guardare lontano": la funzione si applica ai nodi in profondità.



# Strategia "A": *minimax*

Due giocatori: MAX  $\blacktriangle$  (la macchina) e MIN  $\blacktriangledown$  (l'avversario)

Struttura ad albero: ogni nodo una configurazione della scacchiera.

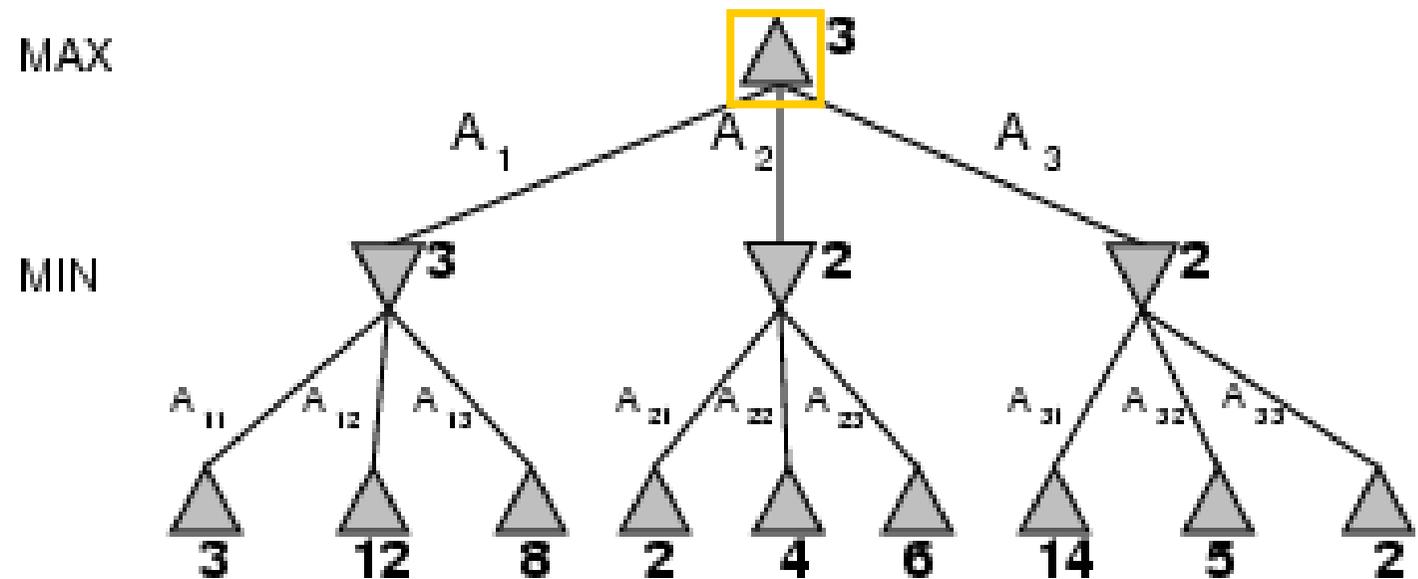
Uno dei due muove, ogni arco descrive una mossa.

L'albero descrive tutte le possibili varianti della partita

Funzione di valutazione  $f(C)$ : si applica ai nodi dell'albero, descrive il vantaggio.

E' importante "guardare lontano": la funzione si applica ai nodi in profondità.

Posizione attuale,  
muove MAX



# Strategia "A": *minimax*

Due giocatori: MAX  $\blacktriangle$  (la macchina) e MIN  $\blacktriangledown$  (l'avversario)

Struttura ad albero: ogni nodo una configurazione della scacchiera.

Uno dei due muove, ogni arco descrive una mossa.

L'albero descrive tutte le possibili varianti della partita

Funzione di valutazione  $f(C)$ : si applica ai nodi dell'albero, descrive il vantaggio.

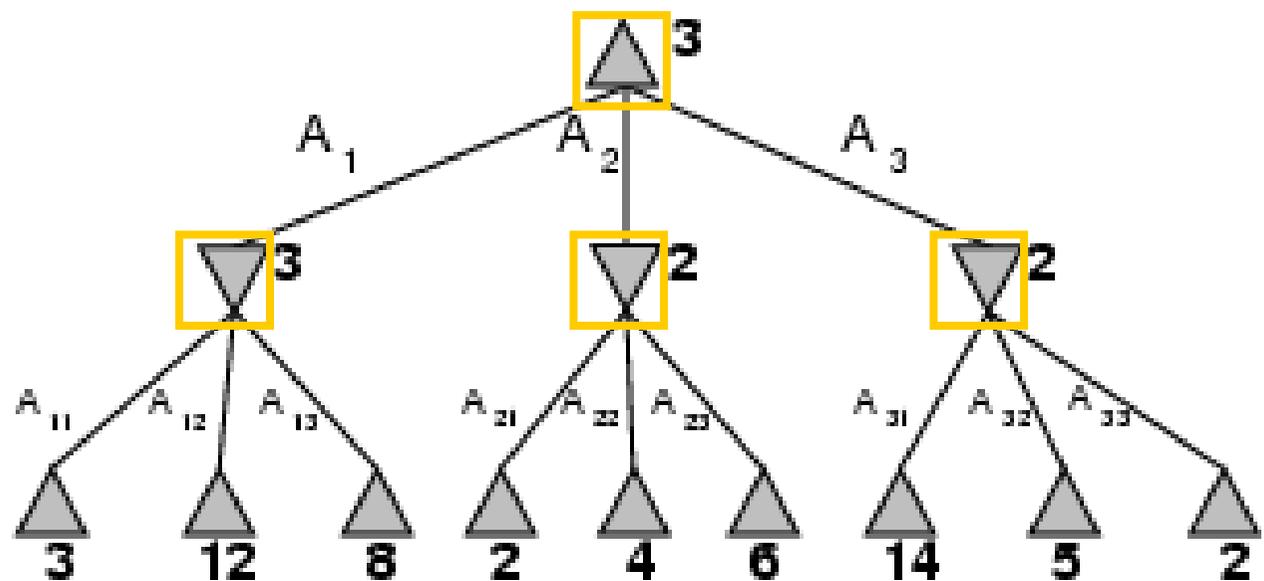
E' importante "guardare lontano": la funzione si applica ai nodi in profondità.

Posizione attuale,  
muove MAX

MAX

Tutte le mosse  
possibili per MAX,  
muove MIN

MIN



# Strategia "A": *minimax*

Due giocatori: MAX  $\blacktriangle$  (la macchina) e MIN  $\blacktriangledown$  (l'avversario)

Struttura ad albero: ogni nodo una configurazione della scacchiera.

Uno dei due muove, ogni arco descrive una mossa.

L'albero descrive tutte le possibili varianti della partita

Funzione di valutazione  $f(C)$ : si applica ai nodi dell'albero, descrive il vantaggio.

E' importante "guardare lontano": la funzione si applica ai nodi in profondità.

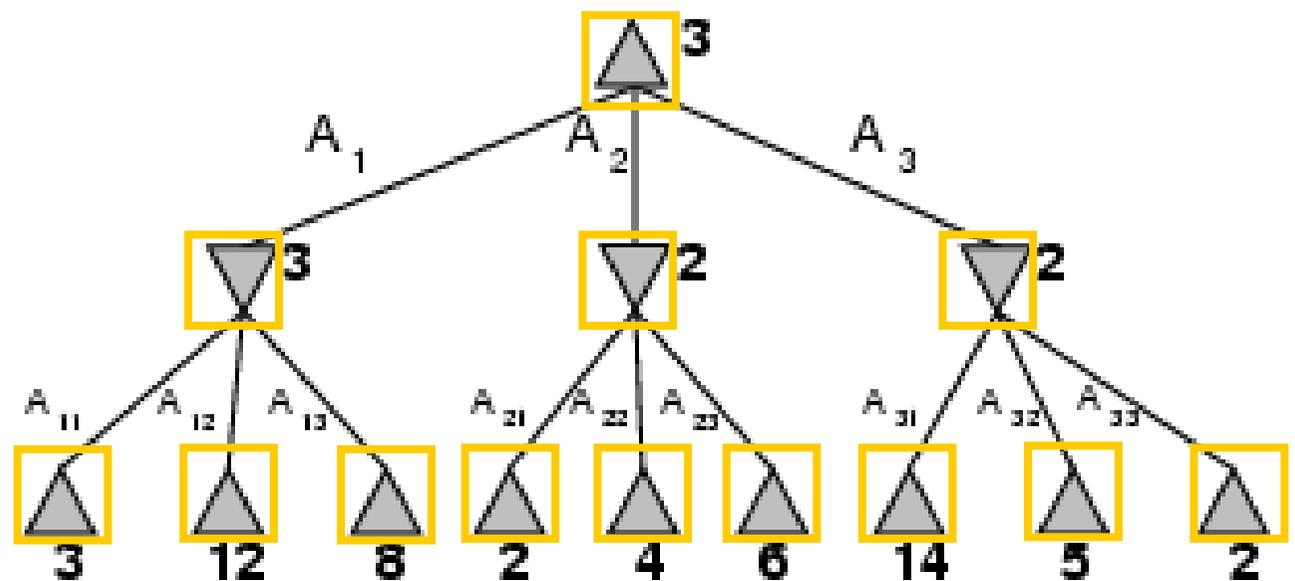
Posizione attuale,  
muove MAX

MAX

Tutte le mosse  
possibili per MAX,  
muove MIN

MIN

Tutte le mosse  
possibili per MIN



# Strategia "A": *minimax*

Due giocatori: MAX  $\blacktriangle$  (la macchina) e MIN  $\blacktriangledown$  (l'avversario)

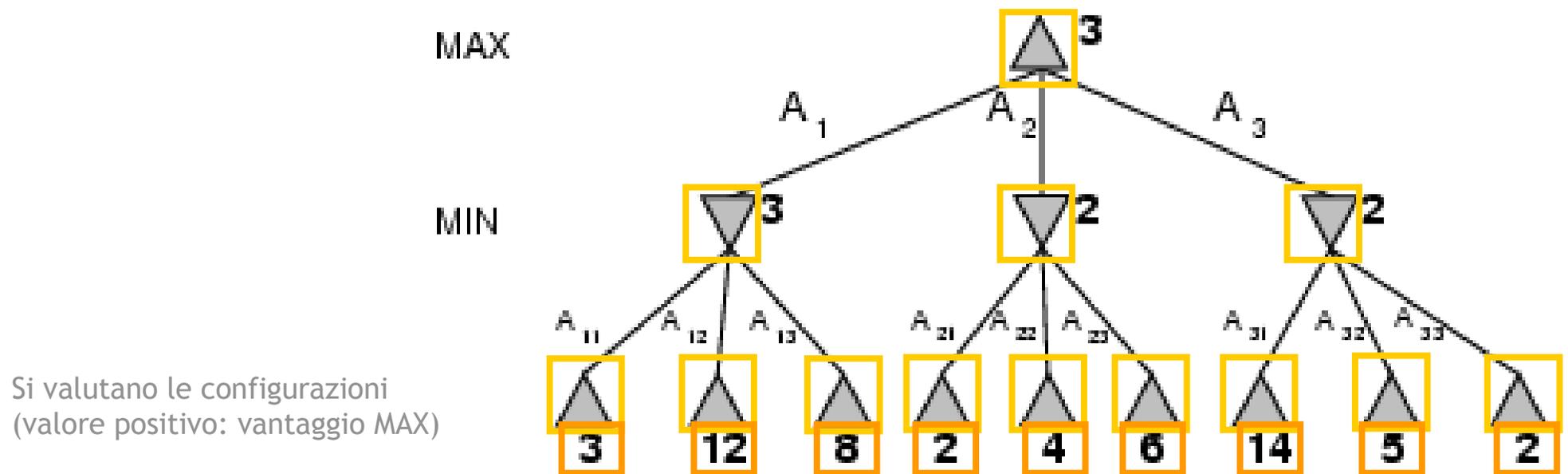
Struttura ad albero: ogni nodo una configurazione della scacchiera.

Uno dei due muove, ogni arco descrive una mossa.

L'albero descrive tutte le possibili varianti della partita

Funzione di valutazione  $f(C)$ : si applica ai nodi dell'albero, descrive il vantaggio.

E' importante "guardare lontano": la funzione si applica ai nodi in profondità.



# Strategia "A": *minimax*

Due giocatori: MAX  $\blacktriangle$  (la macchina) e MIN  $\blacktriangledown$  (l'avversario)

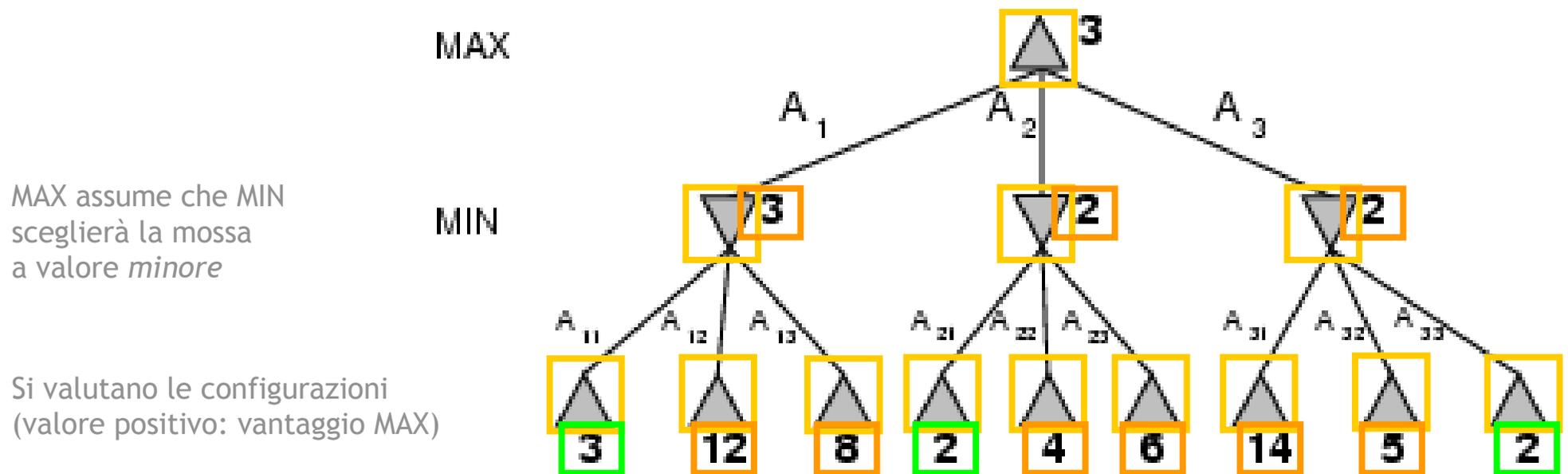
Struttura ad albero: ogni nodo una configurazione della scacchiera.

Uno dei due muove, ogni arco descrive una mossa.

L'albero descrive tutte le possibili varianti della partita

Funzione di valutazione  $f(C)$ : si applica ai nodi dell'albero, descrive il vantaggio.

E' importante "guardare lontano": la funzione si applica ai nodi in profondità.



# Strategia "A": *minimax*

Due giocatori: MAX  $\triangle$  (la macchina) e MIN  $\nabla$  (l'avversario)

Struttura ad albero: ogni nodo una configurazione della scacchiera.

Uno dei due muove, ogni arco descrive una mossa.

L'albero descrive tutte le possibili varianti della partita

Funzione di valutazione  $f(C)$ : si applica ai nodi dell'albero, descrive il vantaggio.

E' importante "guardare lontano": la funzione si applica ai nodi in profondità.

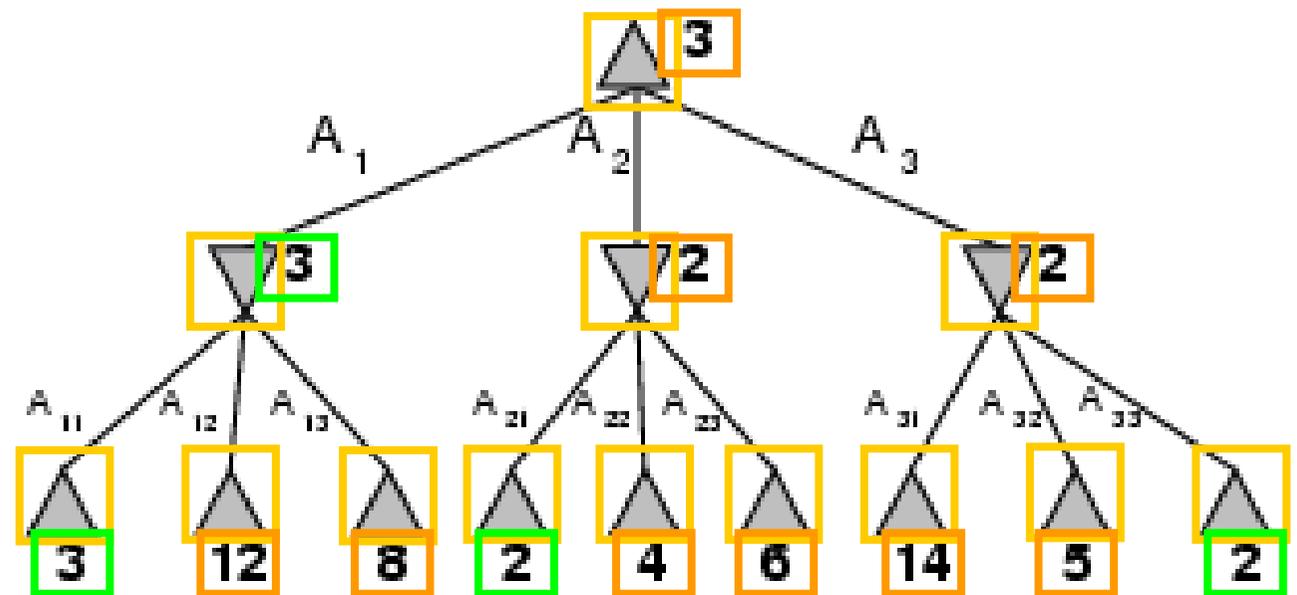
MAX invece sceglie  
la mossa a valore *maggiore*

MAX

MAX assume che MIN  
sceglierà la mossa  
a valore *minore*

MIN

Si valutano le configurazioni  
(valore positivo: vantaggio MAX)



# Strategia "A": *minimax*

(La struttura ad albero nel disegno precedente è molto semplificata)

Un albero descrittivo per il gioco degli scacchi ha un *branching factor* medio 30

Il *branching factor* è il numero di diramazioni a partire da un nodo

La complessità dell'albero è  $O(b^d)$

$b$  è il *branching factor*

$d$  è il numero di mosse singole

(Terminologia: l'esplorazione di un livello di mossa singola si dice anche *ply*)

Ad esempio, l'albero che descrive una sola mossa (MAX e poi MIN) ha circa  $10^3$  nodi

Una albero di tre *ply* ne ha almeno  $10^9$

Una macchina in grado di calcolare  $10^6$  configurazioni al secondo ci metterebbe più di 16 minuti

Una partita a scacchi si svolge mediamente in 40-45 mosse

Si stima che i migliori esperti umani abbiano strategie equivalenti

ad una profondità di 15-20 *ply*

(ma senza calcolo esplicito, strategia "B")

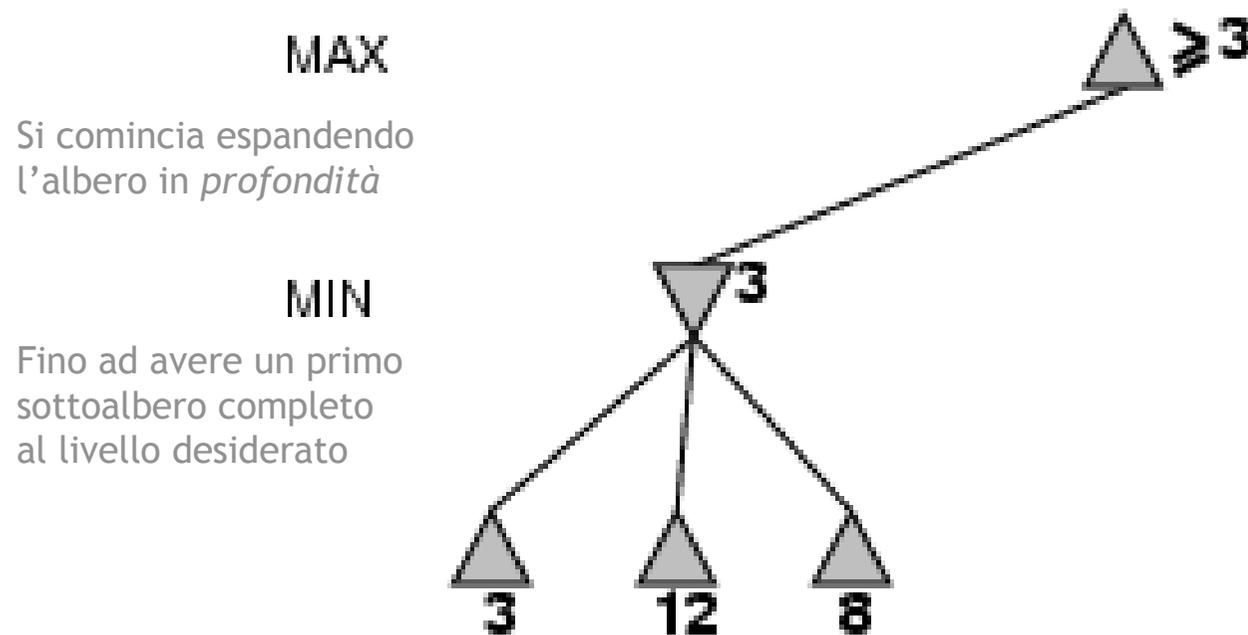
*Morale: occorre ottimizzare*

# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione

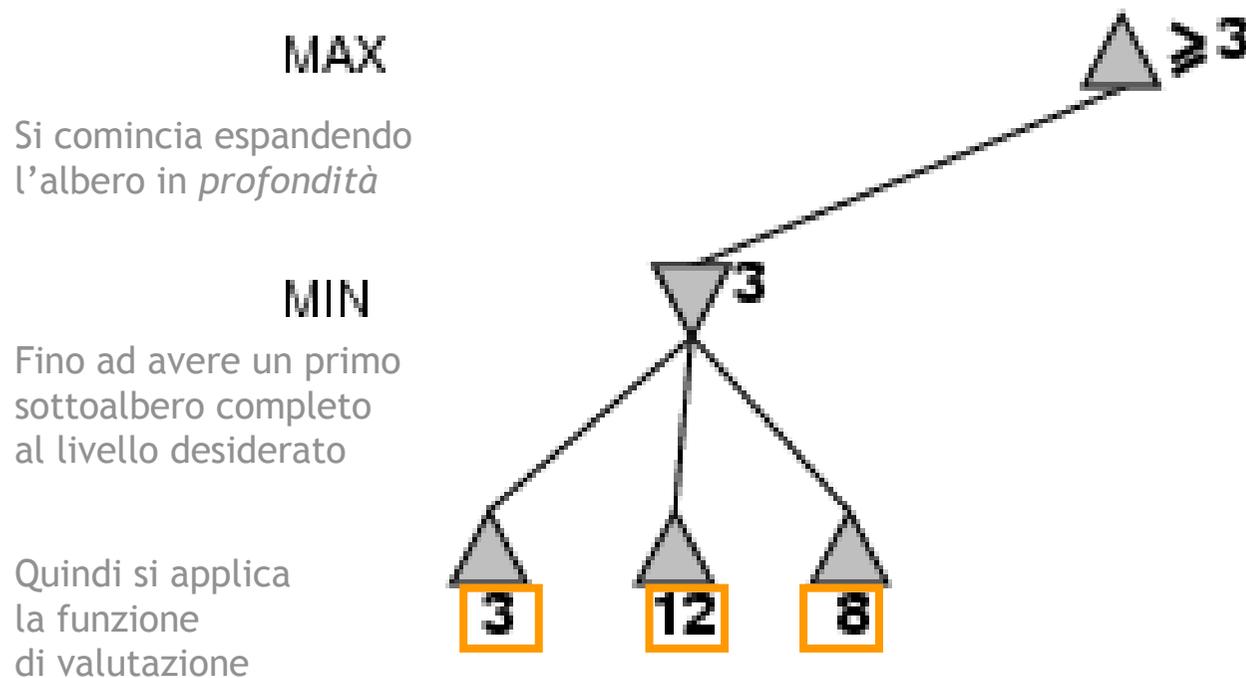
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione



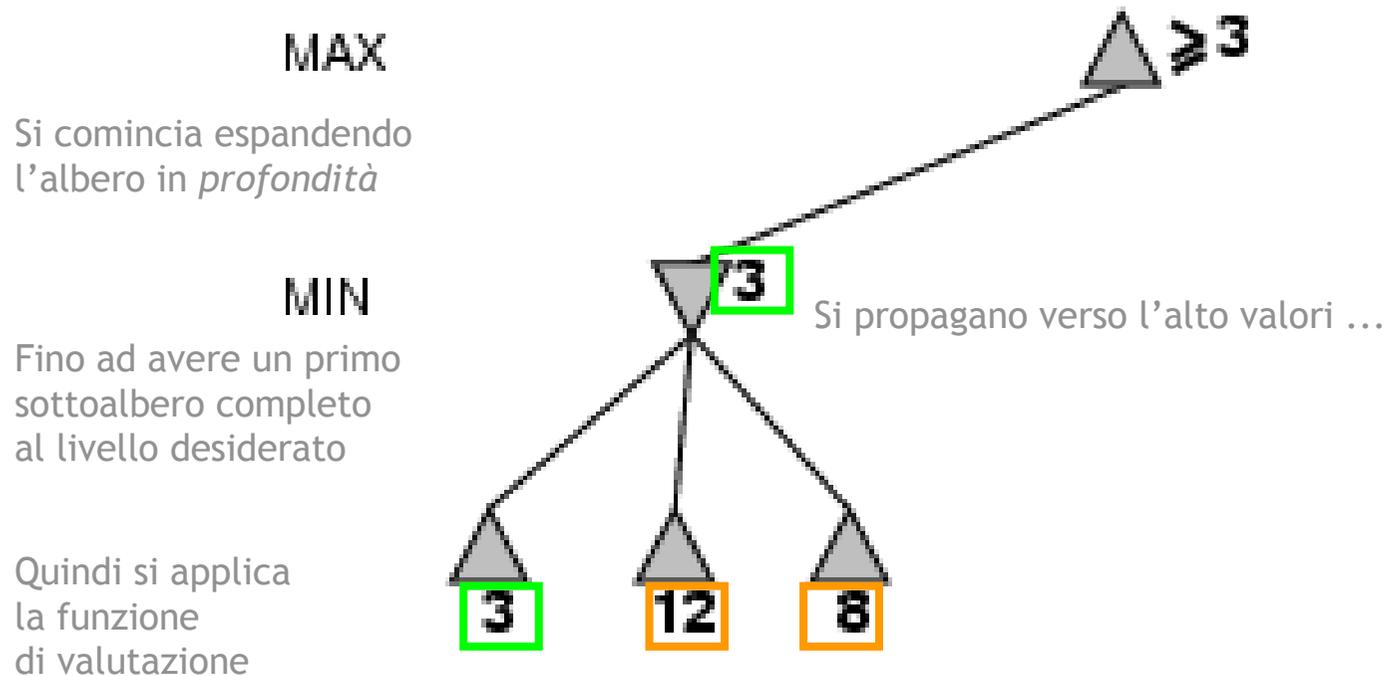
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione



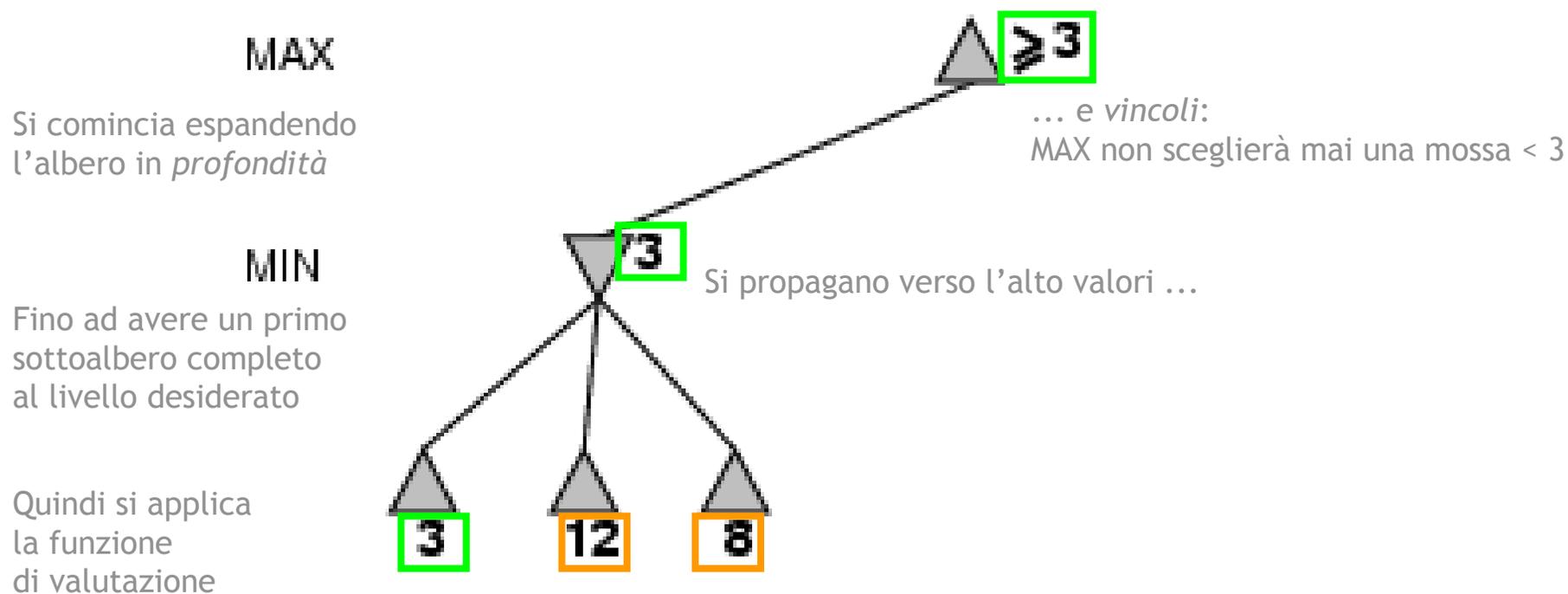
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione



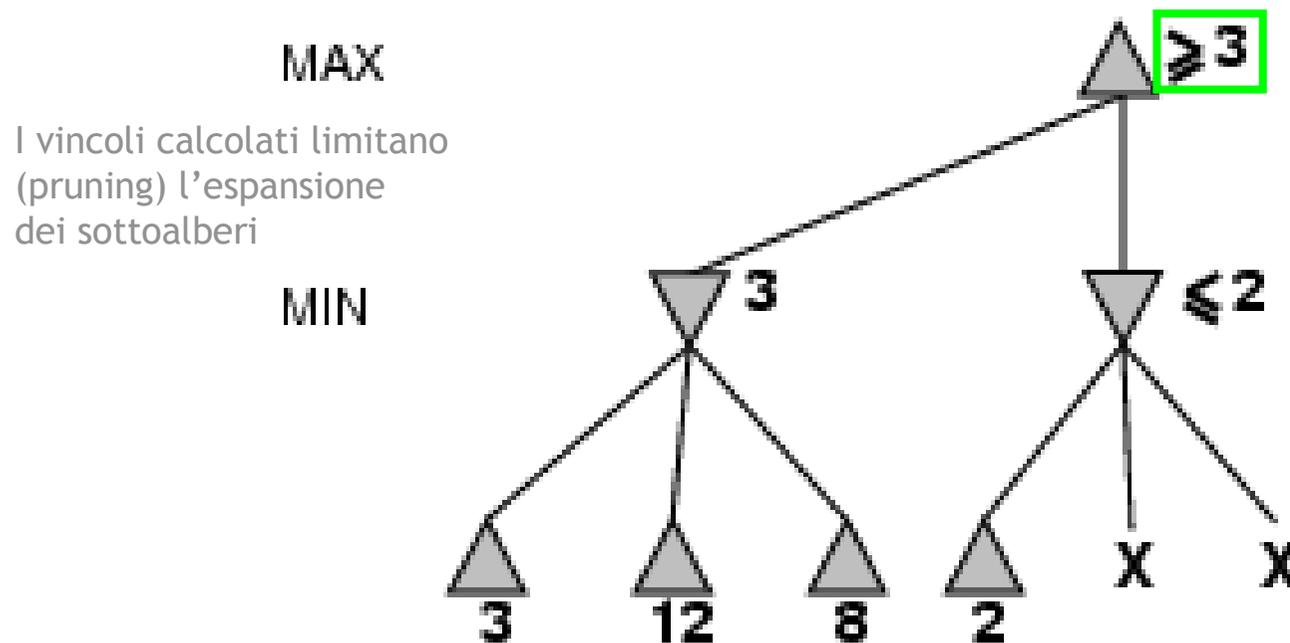
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione



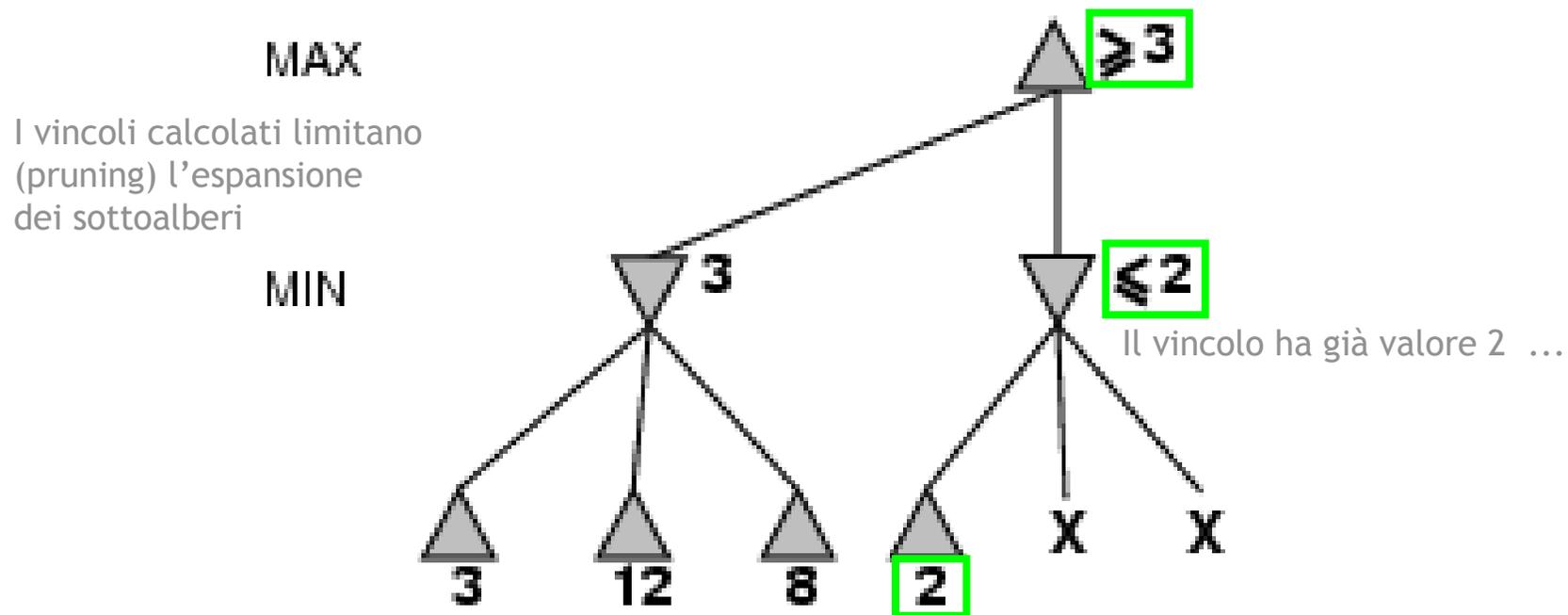
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione



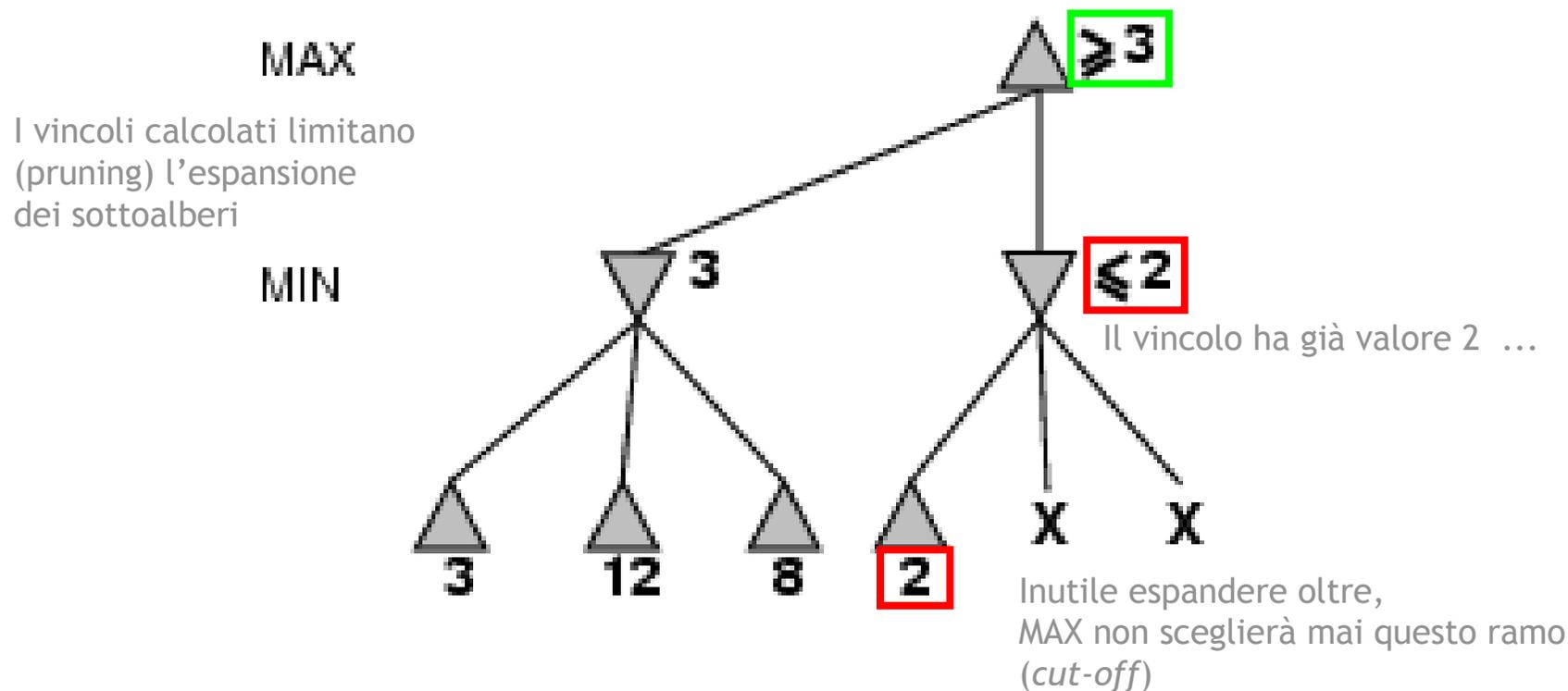
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione



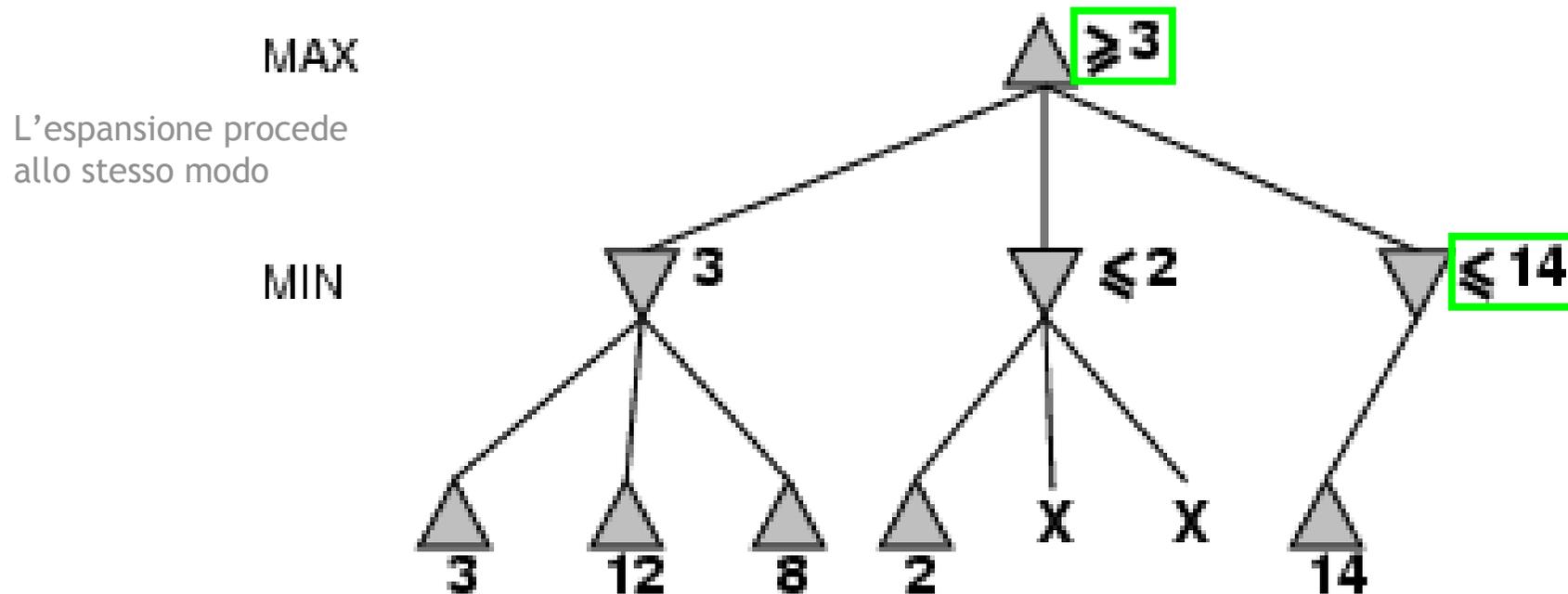
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione



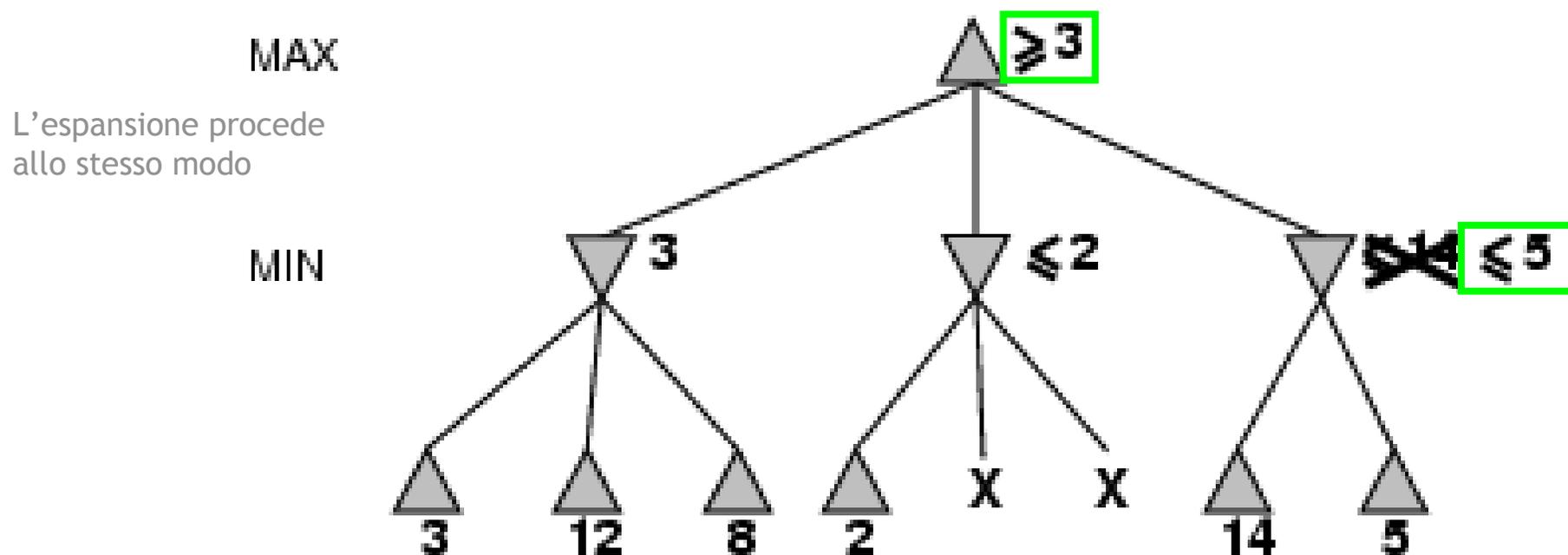
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione



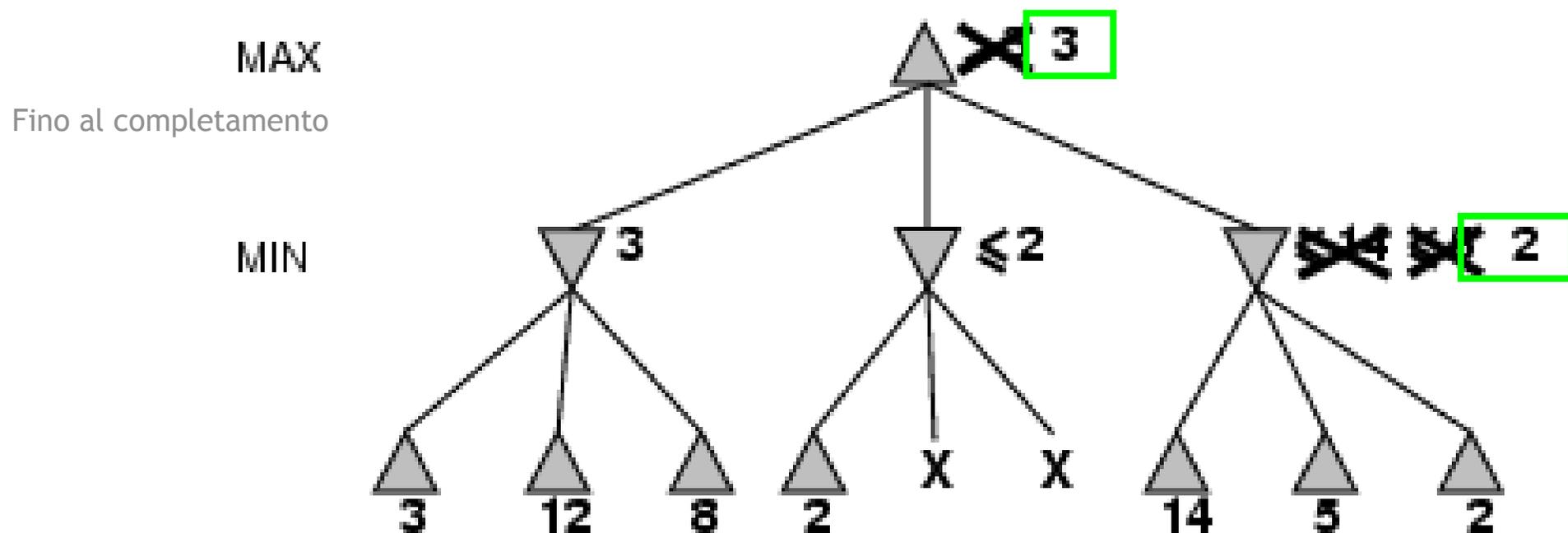
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione



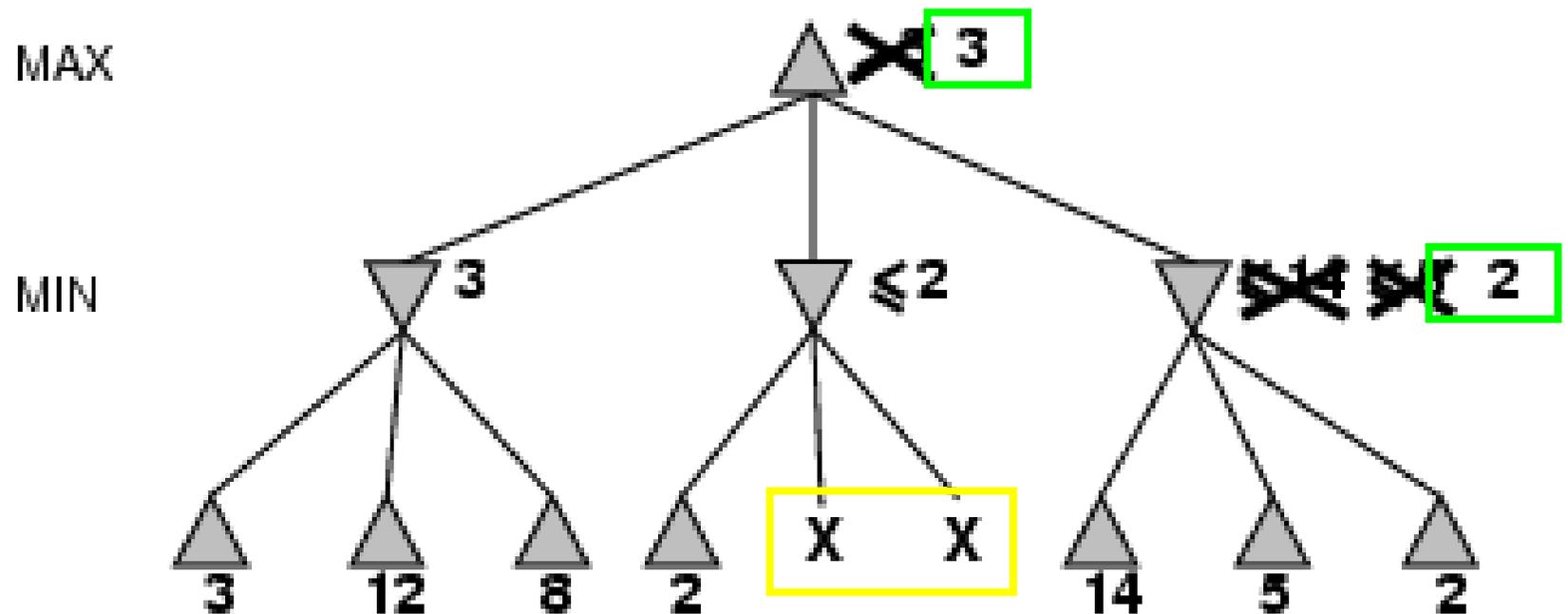
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione



# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione



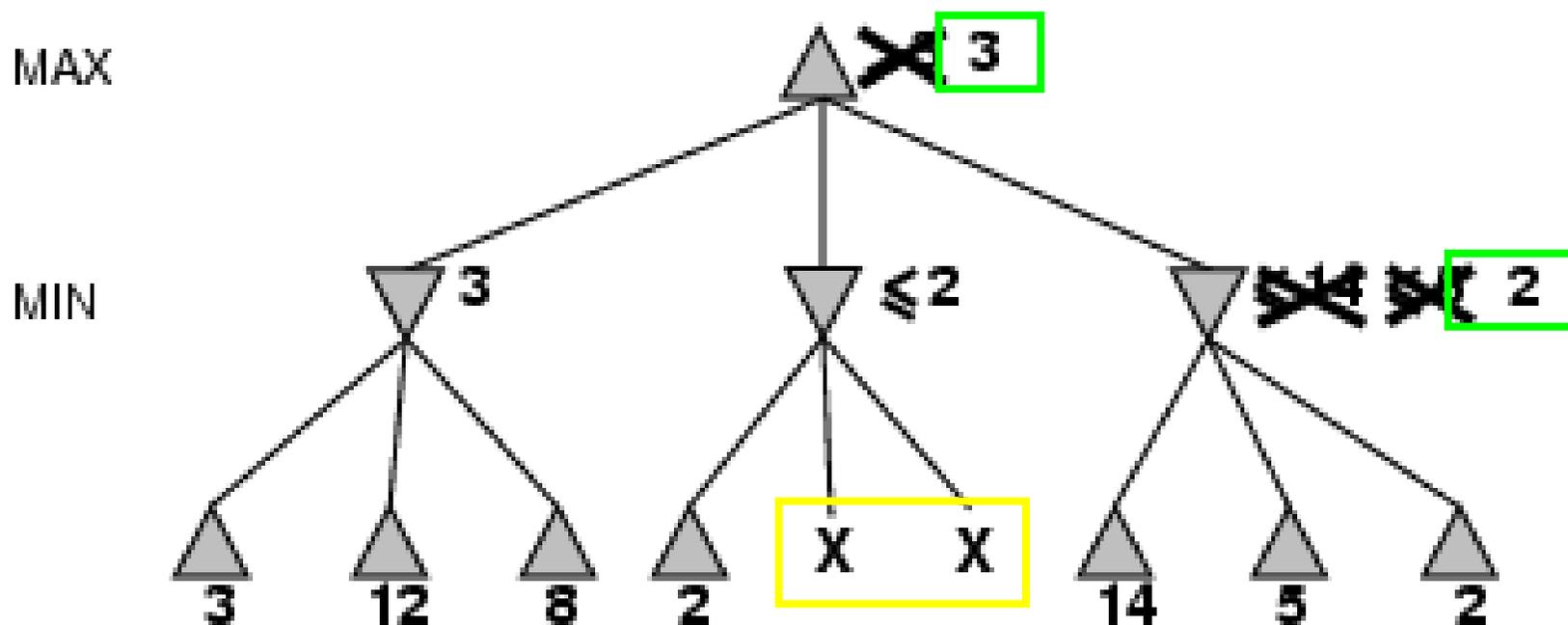
Stesso risultato del *minimax*  
ma questa parte non è stata espansa

# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione

Vantaggio: la complessità dell'albero passa da  $O(b^d)$  a  $O(\sqrt{b^d}) = O(b^{d/2})$

In altri termini, si può andare a profondità doppia nello stesso tempo di calcolo



Stesso risultato del *minimax*  
ma questa parte non è stata espansa

# Strategia "A" o strategia "B"?

Non esistono, di fatto, altre ottimizzazioni del *minimax* che garantiscano il risultato

## Nell'analisi di Shannon (1948)

(Shannon considera solo il *minimax*, senza *alpha-beta pruning*)

Alla luce dell'elevata complessità della strategia "A",  
egli prevede lo sviluppo futuro della strategia "B"

## Strategia di gioco A

Si definisce una *funzione di valutazione*  $f(C)$  che assegna un valore intero ad ogni configurazione della scacchiera (p.es. positivo se favorevole al nero, negativo altrimenti)

La macchina calcola la mossa migliore con il metodo del *minimax*

## Strategia di gioco B

Si selezionano e si valutano solo le varianti più significative

La scelta avviene per riconoscimento di schemi (*pattern recognition*)

# Strategia "A" o strategia "B"?

Non esistono, di fatto, altre ottimizzazioni del *minimax* che garantiscano il risultato

## Nell'analisi di Shannon (1948)

(Shannon considera solo il *minimax*, senza *alpha-beta pruning*)

Alla luce dell'elevata complessità della strategia "A",  
egli prevede lo sviluppo futuro della strategia "B"

## Com'è andata davvero

- All'inizio è stata effettivamente sviluppata la strategia "B"
- Negli anni 1959-1962 è stato sviluppato il primo programma 'credibile' (come principiante - Kotok-McCarthy)
- Dal 1973 gli sviluppatori del programma allora campione del mondo abbandonano la strategia "B"
- Da allora in poi, la strategia "A", con significative modifiche (vedi oltre) domina lo scenario
  - Incluso *Deep Blue* e l'attuale 'mostro' *Hydra* (ritenuto imbattibile da umani)

# Deep Blue

- Deep Blue, 1997 (Campbell, M., Hoane, A. J., Hsu, F., 2001)

Grande capacità di ricerca

Mediamente, 12.2 ply di ricerca *minimax* in tre minuti

Accelerazione hardware

La funzione di valutazione è *built-in* nei processori

Ricerca ibrida, hardware/software

Algoritmi software su CPU convenzionale, facilmente modificabili

Sistema di processori dedicati, governati dalla CPU, per l'esplorazione dell'albero

Parallelismo massivo

Oltre 500 processori, opportunamente organizzati, partecipano all'esplorazione

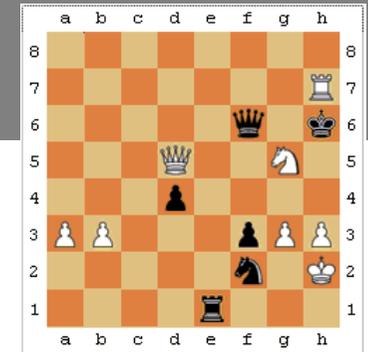
Utilizzo di un ampio database di partite di grandi maestri (umani)

(E' stato disattivato subito dopo la fine del match)

- Stesse domande:

Deep Blue è intelligente?

Deep Blue *si comporta* in modo intelligente?



# DeepQA (a.k.a. "Watson")

- **DeepQA, 2010** (Ferrucci, D., et al. 2001)

Evento (14-18/02/2011)

In tre successivi episodi di *"Jeopardy!"*, Watson supera in modo netto e convincente due campioni umani: Brad Rutter, vincitore della somma complessiva più elevata e Ken Jennings, vincitore della serie più lunga di episodi

## Ricerca autonoma, memoria locale

Il regolamento vieta la connessione online durante il gioco  
DeepQA deve usare solo la propria memoria  
Può però usare il web per il training

## Ricerca e risposta testuale

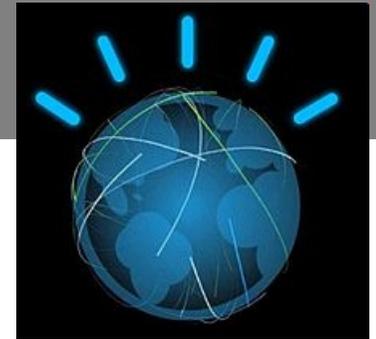
Nel gioco reale sono ammesse anche immagini e audio  
DeepQA può solo analizzare testi e produrre risposte testuali

## Hardware sofisticato ma 'convenzionale' / software specializzato

Sistema server per HPC, con 2880 CPU ma composto di hardware 'a catalogo' IBM  
Si stima 300.000 \$ di materiale

Linux SUSE ES 11, Software in Java e C++, Apache Hadoop, Apache UIMA

(Ad oggi, IBM si aspetta un significativo ritorno, in termini di applicazioni effettive)

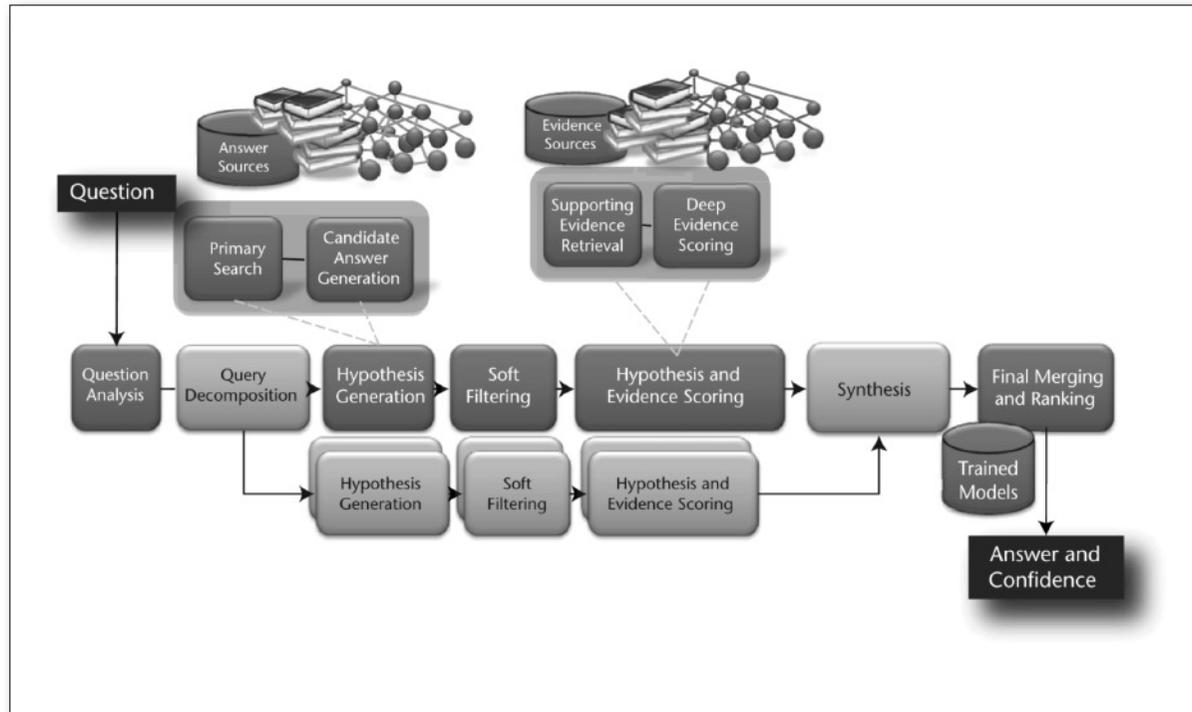


(Immagini da Wikipedia)

# DeepQA (a.k.a. "Watson")

## ■ Come funziona?

*Si sa molto poco...*



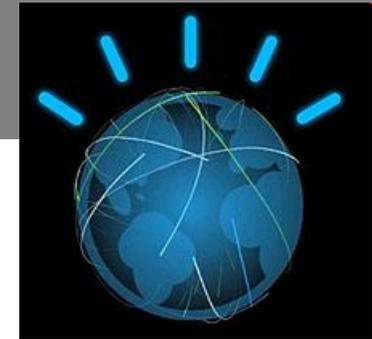
(Figura da Ferrucci, D, et al. 2010)

Filiera di elaborazione

"They used nearly every trick in the book.." (da video su YouTube)

Elaborazione parallela su più filiere

Con valutazione del 'degree of confidence' e scelta della risposta migliore

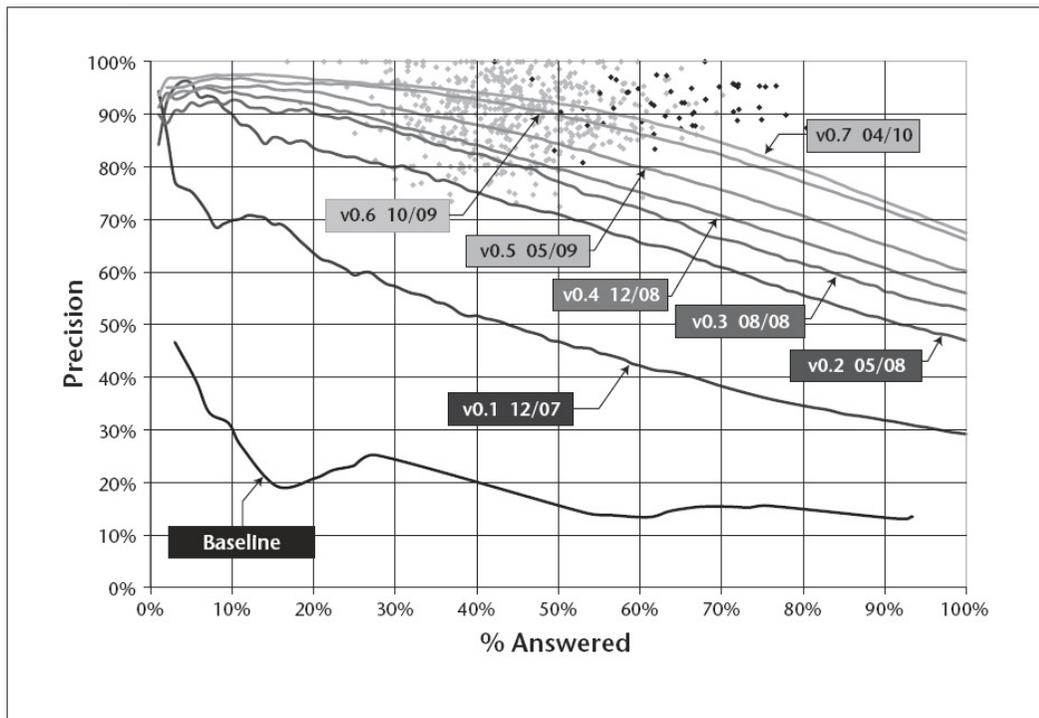


(Immagini da Wikipedia)

# DeepQA (a.k.a. "Watson")

## ■ Come funziona?

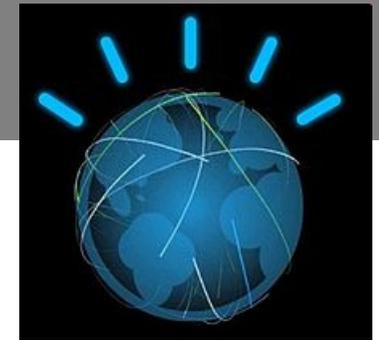
*Si sa molto poco...*



(Figura da Ferrucci, D, et al. 2010)

Training e modifica progressiva

Ampio ricorso alle tecniche di *machine learning*



(Immagini da Wikipedia)

# DeepQA (a.k.a. "Watson")

## ■ E' intelligente?

"Does Watson Think?"

"Huh, hmm, what's my favourite response on that?

(Do submarines swim?)

[...]

I'd like to look at it as a sort of task-based view: when you think of Watson playing Jeopardy!, it is acting like an intelligent Jeopardy! player, if you deconstruct its intelligence you're gonna find lots of different algorithms no one of them you would look at and say

"Wow! That's really intelligent! It really understands the question!"

[...]

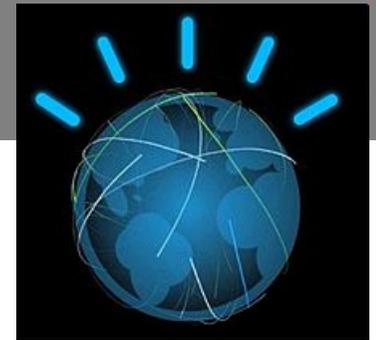
You have this holistic effect, where it's solving a problem that you formally think that takes you *think*, to solve that problem, ...

Watson is doing it in a perhaps different way.

[...]

And I think ultimately of it as a tool, that helps humans solving problems... "

D. Ferrucci, nel video <http://www.ted.com/webcast/archive/event/ibmwatson>



# "Intelligenza Artificiale"

## ■ Otto definizioni (storiche) di IA in quattro quadranti

(da Russell, S., Norvig, P., 1995)

<p>"The exciting new effort to make computers think ... <i>machines with minds</i>, in the full and literal sense" (Haugeland 1985)</p> <p>"The area of computer science that deals with the ways in which computers can be made to perform cognitive functions ascribed to humans" (Noyes 1992)</p>	<p>"The study of mental faculties through the use of computational models" (Charniak and McDermott 1984)</p> <p>"The study of the computations that make it possible to perceive, reason, and act" (Winston 1992)</p>
<p>"A field of study concerned with designing and programming machines to accomplish tasks that people accomplish with their intelligence." (Schuster 1987)</p> <p>"The study of how to make computers do things at which, at the moment, people are better" (Rich and Knight 1991)</p>	<p>"A field of study that seeks to explain and emulate intelligent behavior in terms of computational processes" (Schalkoff 1990)</p> <p>"The study of intelligent behavior" (Genesereth 1988)</p>

Sistemi che <b>pensano</b> come gli umani	Sistemi che <b>pensano</b> in modo <i>razionale</i>
Sistemi che <b>si comportano</b> come gli umani	Sistemi che <b>si comportano</b> in modo <i>razionale</i>

Sistemi che **si comportano**  
in modo *razionale*

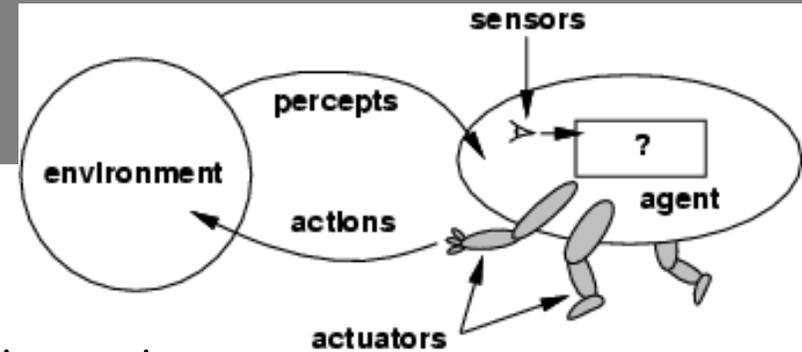
Un ulteriore tentativo di definizione ...

Sistemi che **hanno**  
**un comportamento autonomo**  
*governati da un computer*

Sistemi che **hanno**  
**un comportamento autonomo**  
*governati da un computer*

La differenza è il risultato, *l'efficacia del comportamento* (rispetto ad un compito)  
L'intelligenza umana o naturale è una fonte di ispirazione ed un punto di riferimento

# Sistema intelligente?



## ■ Sistema autonomo

Un sistema capace di agire in modo *indipendente*

In grado esercitare un certo grado di controllo sul proprio *stato interno*

Un sistema che interagisce con un *ambiente esterno*

Cui accede tramite *sensori* (percezioni) ed *attuatori* (azioni)

Un sistema che ha un'*obiettivo*

Tipicamente definito per progetto

## ■ Sistema intelligente

Dov'è il confine?

Un browser web è un sistema intelligente?

(*non direi, non è autonomo*)

Un termostato?

Uno spybot?

*Deep Blue?*

*DeepQA?*

# Sistemi che pensano in modo autonomo

- The physical-symbol system hypothesis (PSSH)

Newell, A., Simon, H., *Computer Science as Empirical Inquiry Symbols and Search*, 1976

“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.”

# Intelligenza come calcolo simbolico

- **Simboli**

  - Sono (fisicamente) manipolabili da una macchina

  - Possono avere *relazioni* con altri simboli (sintassi: espressioni, formule)

- **Elaborazione**

  - La macchina utilizza *simboli* e *relazioni* ma opera solo sulla dimensione *fisica* (non 'conosce' il *significato*\* dei simboli)

- **Processi**

  - Il processo di ragionamento è una manipolazione dei simboli, secondo *regole* precise (calcolo)

  - L'implementazione della macchina che esegue il processo è irrilevante (*disembodiment* = il pensiero senza pensatore?)

- **Calcolo simbolico *automatico***

  - Il processo è eseguito da una macchina

(\*qui inteso come relazione tra simboli e mondo esterno)

# Gli elefanti sanno giocare a scacchi?

(Brooks, R., *Elephants Don't Play Chess*, 1990)

## ■ Critica dell'ipotesi del sistema di calcolo simbolico (PSSH)

Un unico sistema (sincrono) di controllo

Gli studi sulle lesioni cerebrali suggeriscono il contrario

Un sistema di calcolo *general purpose* ed imparziale

Lo studio della percezione visiva rivela la 'propensione' a preferire alcune interpretazioni rispetto ad altre

Un modello 'monolitico' di rappresentazione interna

Gli esseri umani non fanno così – p. es. fenomeno della *change blindness* (O'Reagan, J. K., Rensink, R. A., Clark, J. J., 1999)

Totale separazione di mente e corpo (*disembodiment*)

Si disconoscono inoltre le forme di intelligenza non simbolica

(Come avrà potuto evolversi, un simile forma di intelligenza?)

# Tre livelli di elaborazione cognitiva (D. Norman, 2004)

- **Visceral**

The most immediate level of processing, in which we react to visual and other sensory aspects of a product that we can perceive before significant interaction occurs. Visceral processing helps us make rapid decisions about what is good, bad, safe, or dangerous.

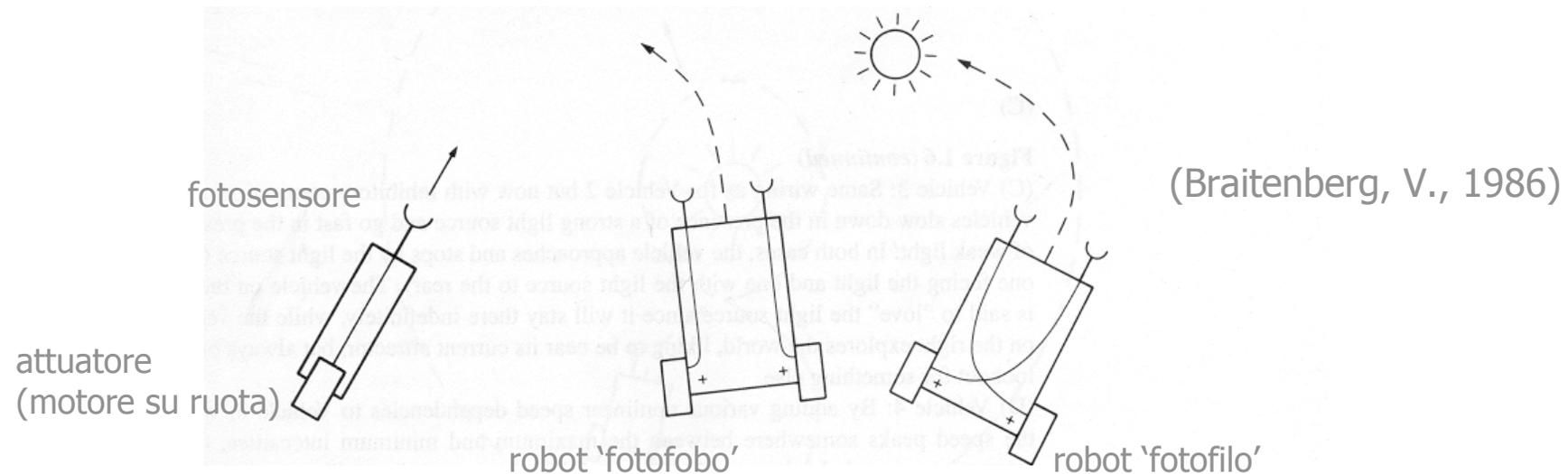
- **Behavioral**

The middle level of processing that lets us manage simple, everyday behaviors, which constitute the majority of human activity. Behavioral processing can enhance or inhibit both lower-level visceral reactions and higher-level reflective responses, and conversely, both visceral and reflective processing can enhance or inhibit behavioral processing.

- **Reflective**

The least immediate level of processing, which involves conscious consideration and reflection on past experiences. Reflective processing can enhance or inhibit behavioral processing, but has no direct access to visceral reactions. This level of cognitive processing is accessible only via memory, not through direct interaction or perception. Through reflection, we are able to integrate our experiences with designed artifacts into our broader life experiences and, over time, associate meaning and value with the artifacts themselves.

# Sistemi che hanno un comportamento autonomo



## ■ Connessione diretta

I robot di V. Braitenberg esibiscono un mero comportamento reattivo:  
i sensori sono direttamente connessi agli attuatori

Il comportamento è comunque notevole ...

# Comportamento, rappresentazione

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

“[...] An 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 come proprietà *emergente*

Si manifesta attraverso *le interazioni*

- con l'ambiente circostante
- con altri agenti in una società
- in base alle conoscenze ed alla storia collettiva

## ▪ Somma di diverse abilità

**Sviluppo**, capacità di acquisire nuove conoscenze

**Interazione sociale**, trasferimento ed aiuto reciproco

**Corporeità** (*embodiment*) e **contesto fisico** (*physical coupling*)

Uso del corpo e dell'ambiente circostante come strumento

**Integrazione**, tra abilità e comportamenti diversi

'Patchwork of behaviors' (Brooks, R., 1990)

Stratificazione gerarchica (*subsumption*)

di comportamenti che legano percezioni ad azioni

# Creatività, immaginazione e caso

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

“A fairly attractive and yet clearly incomplete conjecture is that the difference between **creative** thinking and **unimaginative** competent thinking lies in the injection of 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.”