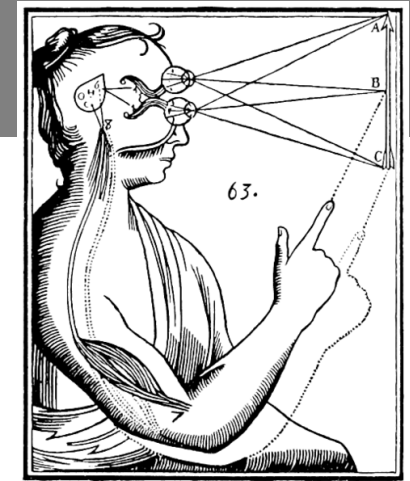


# *Intelligenza Artificiale I*

## Introduzione al corso

Marco Piastra



- 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.”

# "Artificial Intelligence" (prima apparizione del termine)

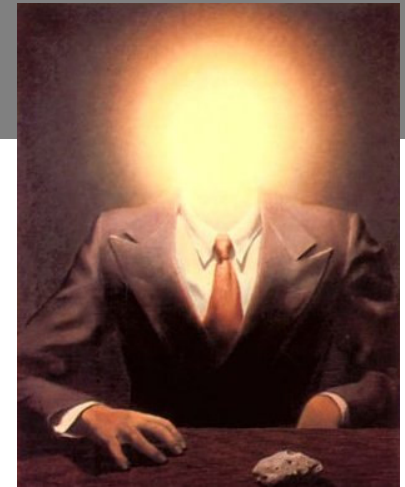


- John McCarthy et al., 1955

"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**."



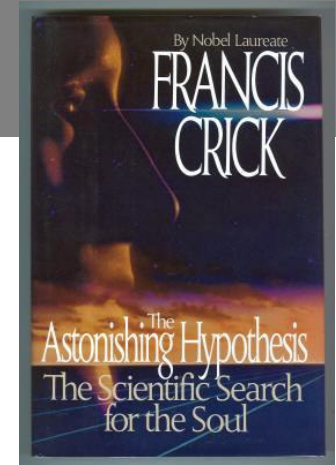
- Searle, J. R., *Minds, Brain and Science*, 1986

“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.

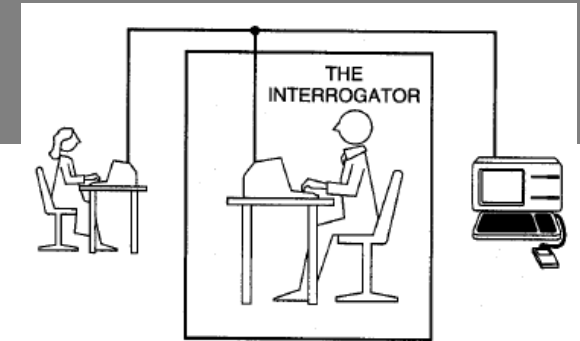
At present, obviously, the metaphor is the digital computer.”



- 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.”

# Can machines think? (Il test di Turing)



- 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



- Breve storia

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

- **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

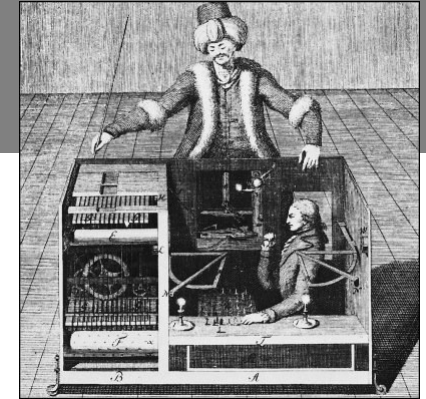
Utilizzo di un ampio database di partite di grandi maestri (umani)

- Domande:

Deep Blue è intelligente?

Deep Blue *si comporta* in modo intelligente?

# Can machines play chess?



## ■ 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)

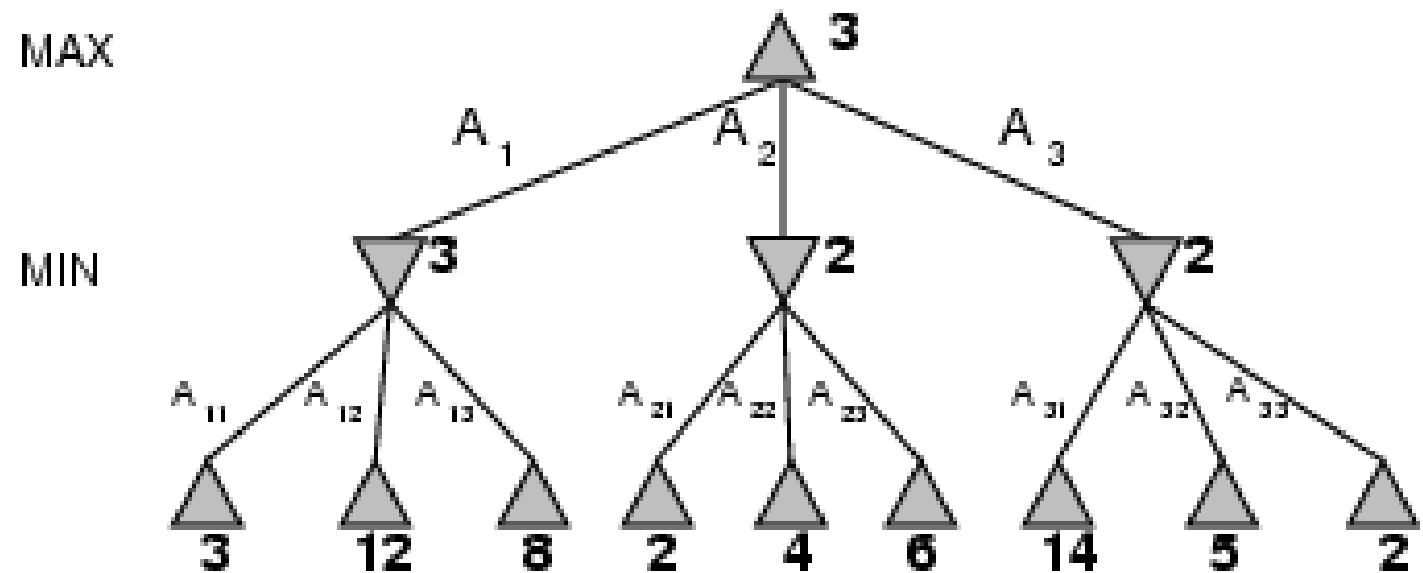
Struttura ad albero: ogni nodo una configurazione della scacchiera.

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.

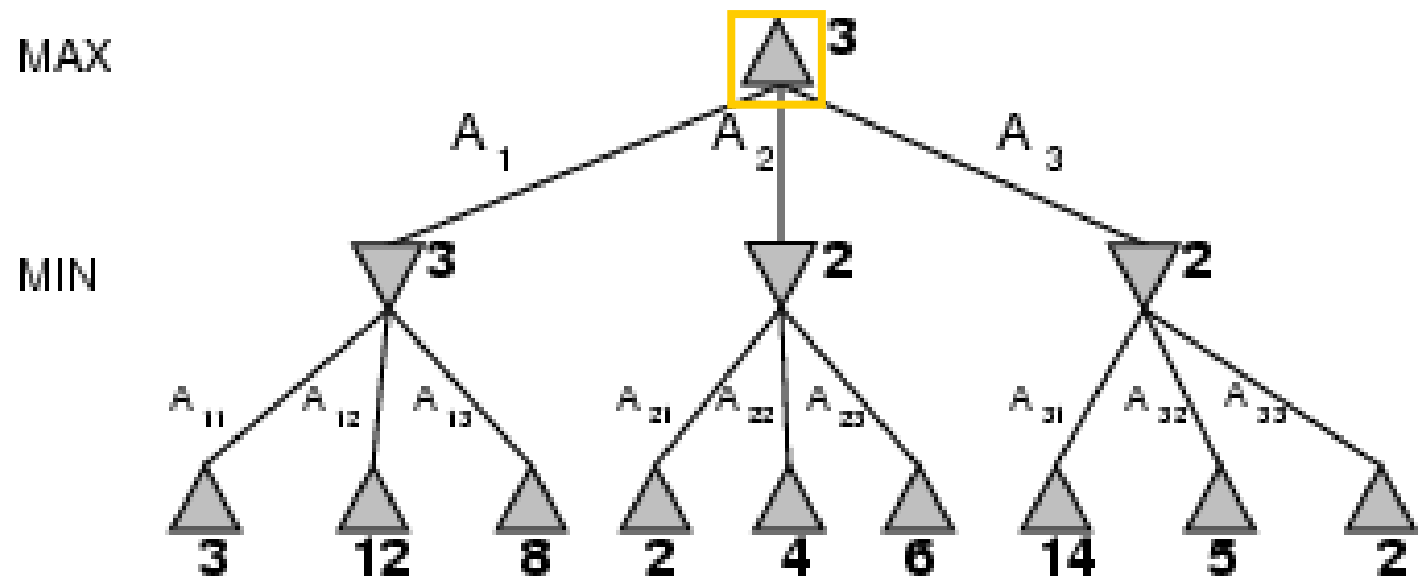
Uno dei due muove, ogni arco descrive una mossa.

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.

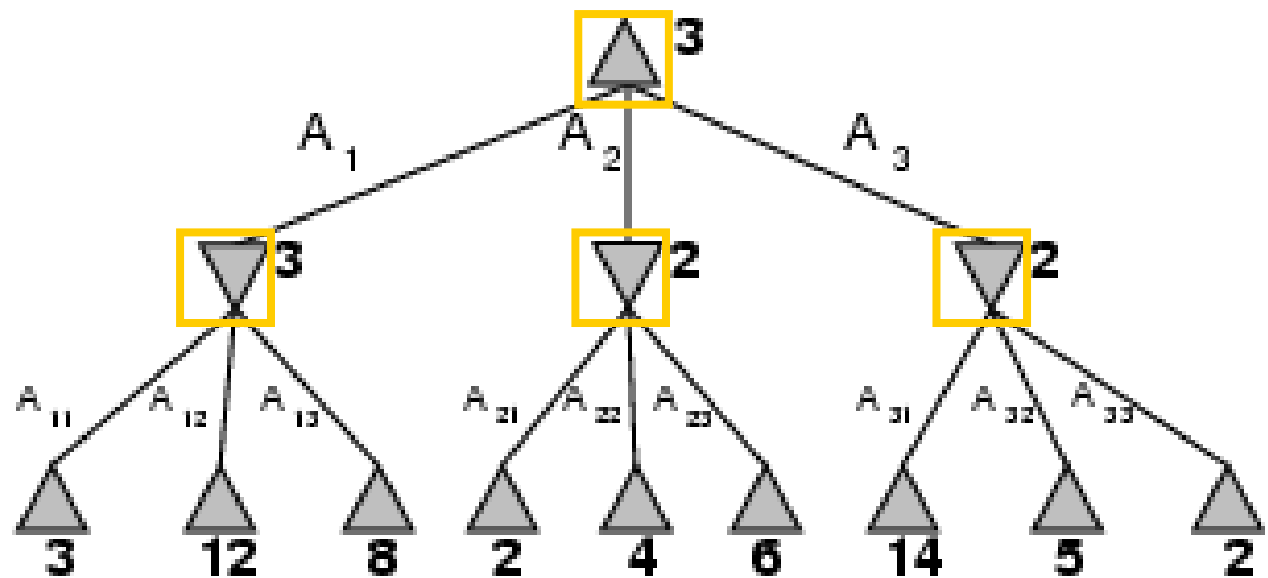
E' importante "guardare lontano": la funzione si applica ai nodi in profondità.

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.

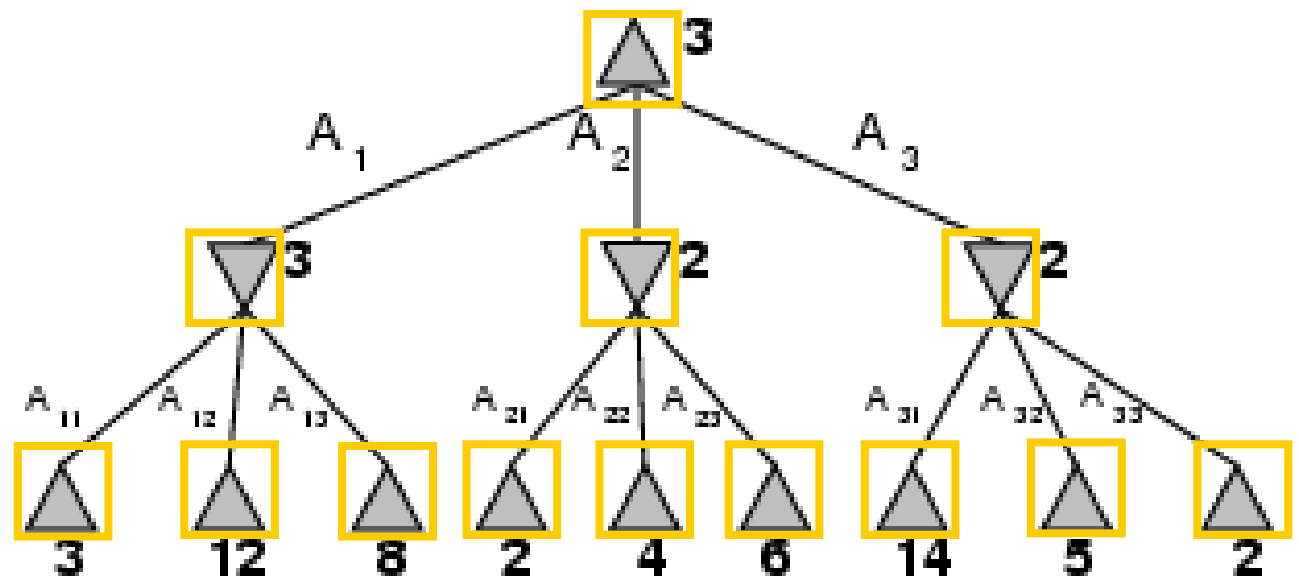
Posizione attuale,  
muove MAX

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)

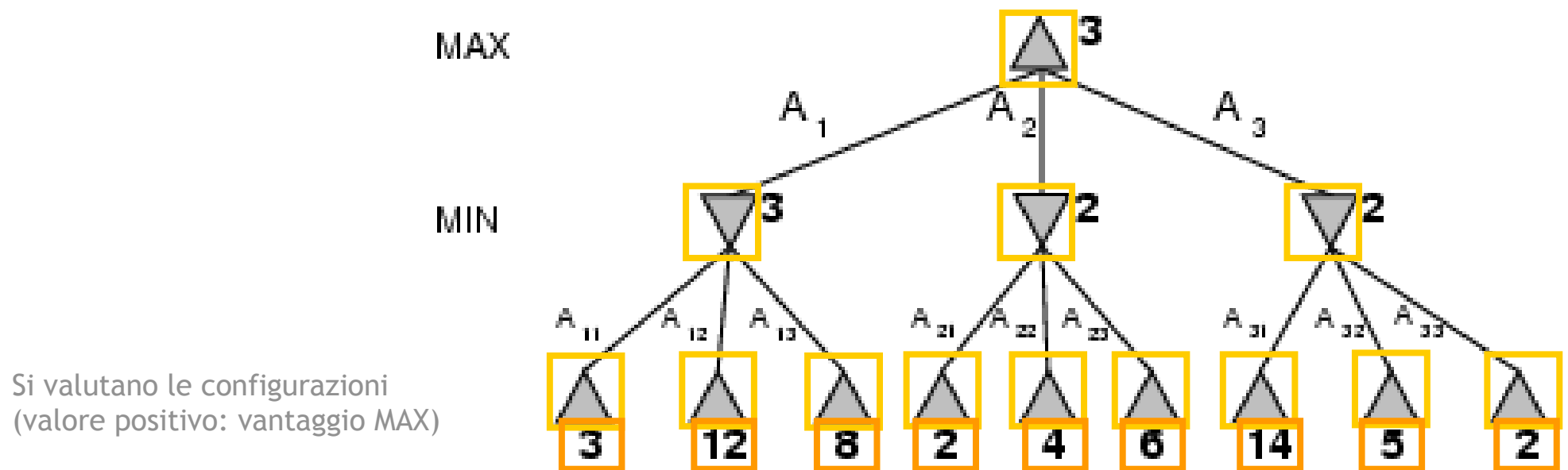
Struttura ad albero: ogni nodo una configurazione della scacchiera.

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)

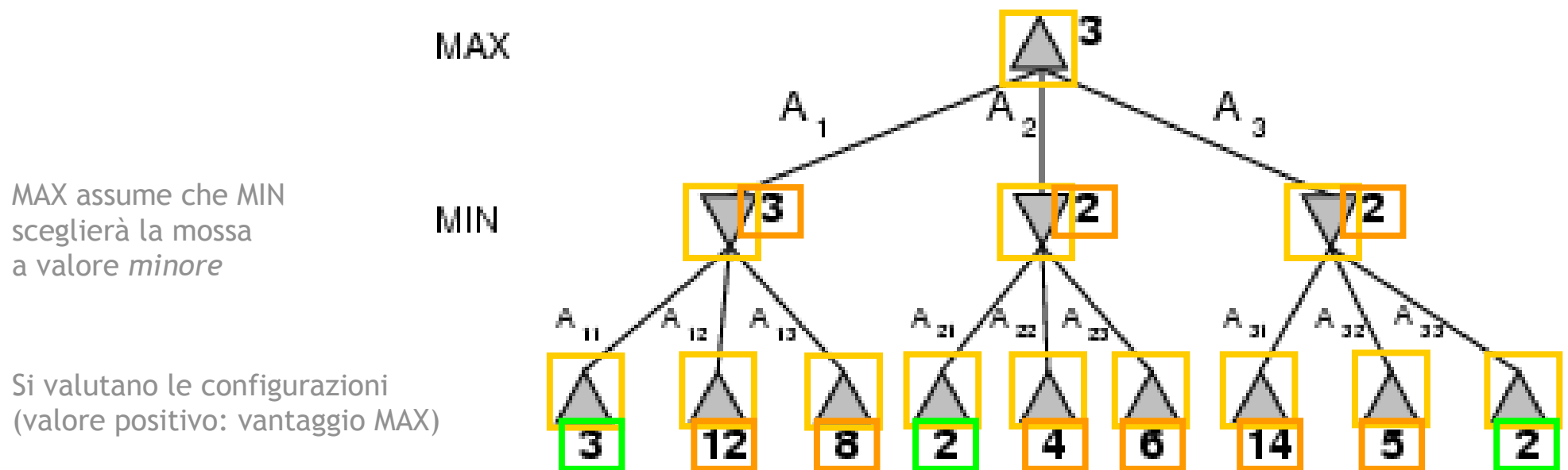
Struttura ad albero: ogni nodo una configurazione della scacchiera.

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  $\blacktriangle$  (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.

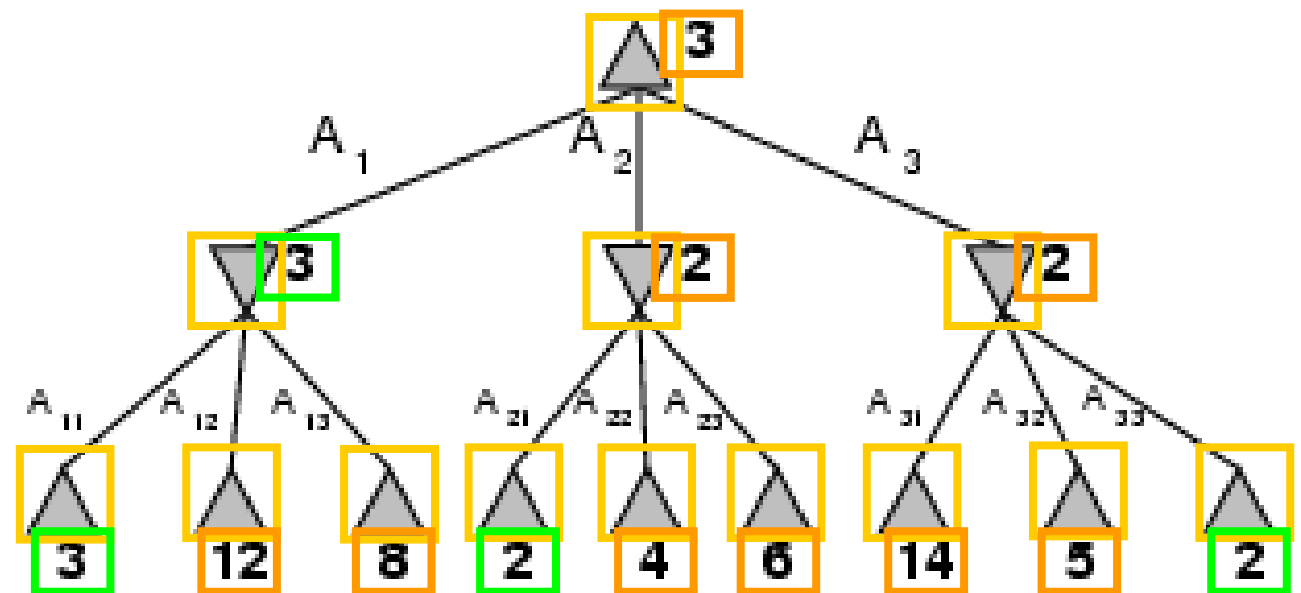
MAX invece sceglie  
la mossa a valore *maggiore*

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: una 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*

*Morale: occorre ottimizzare*

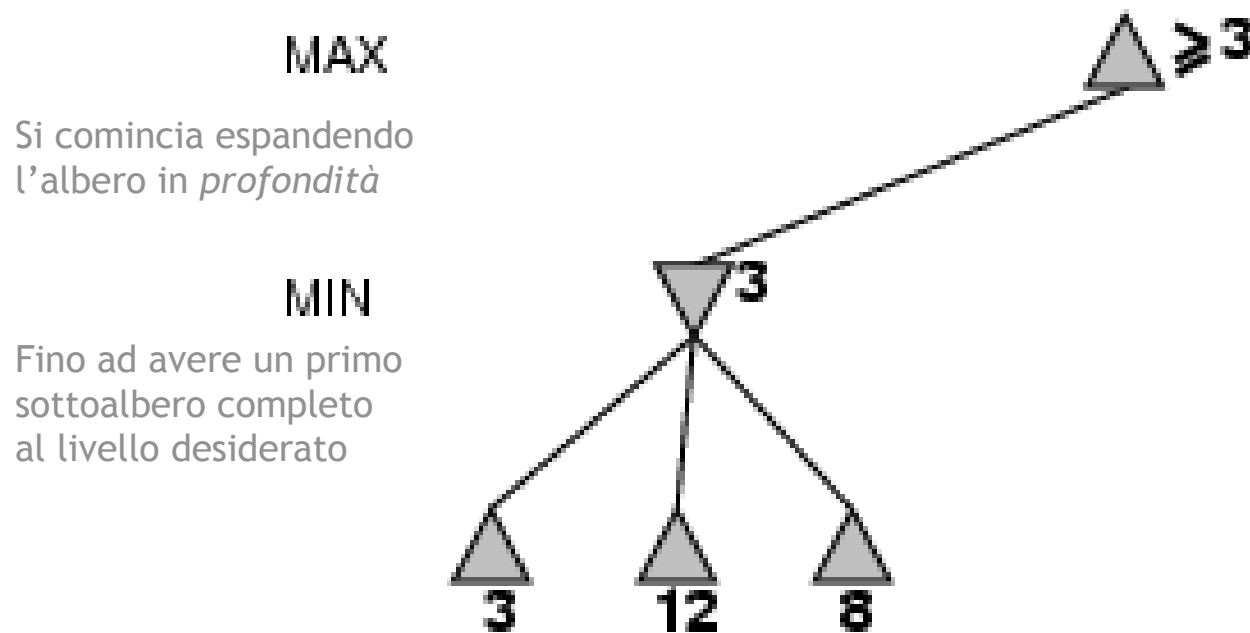


# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

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

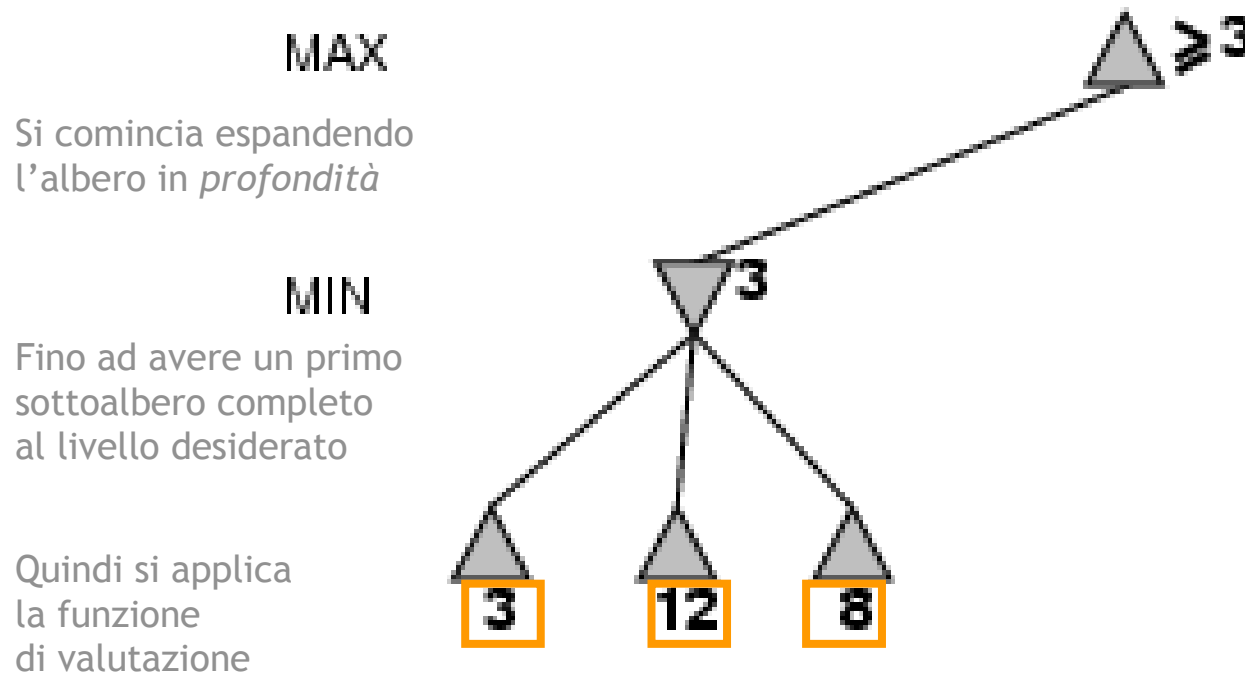
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

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



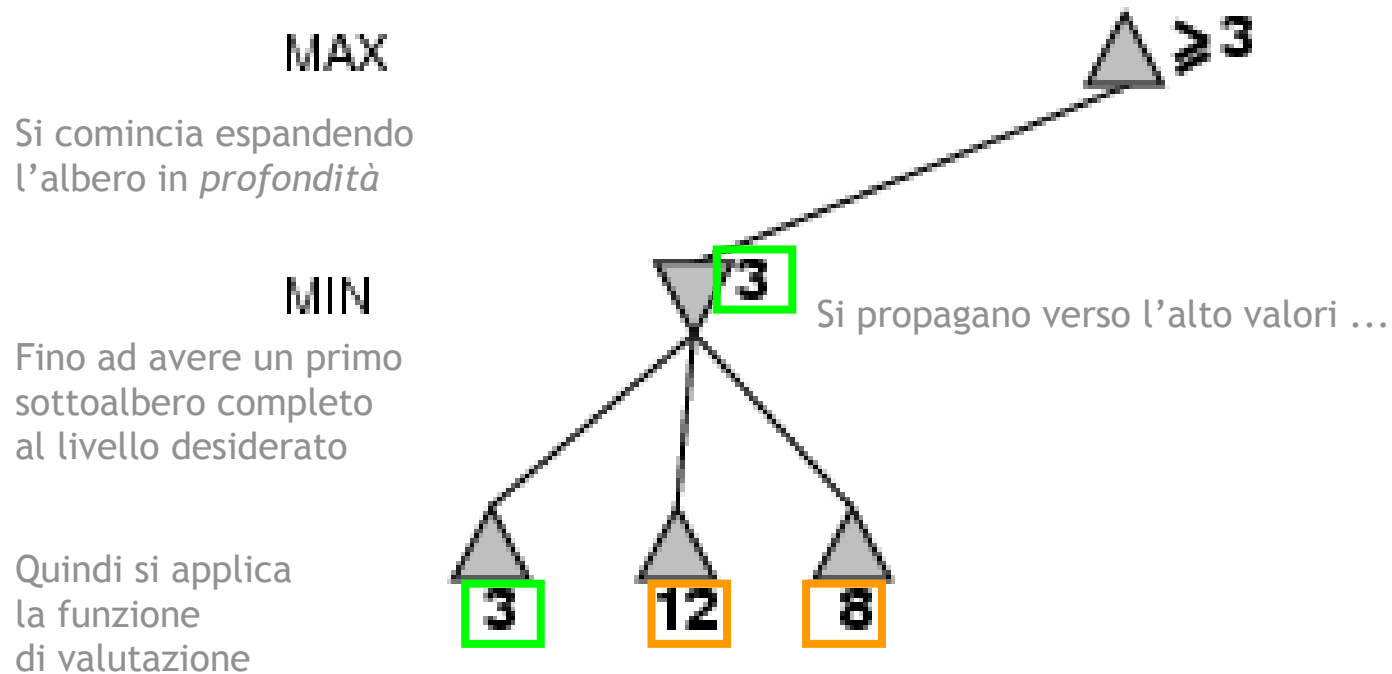
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

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



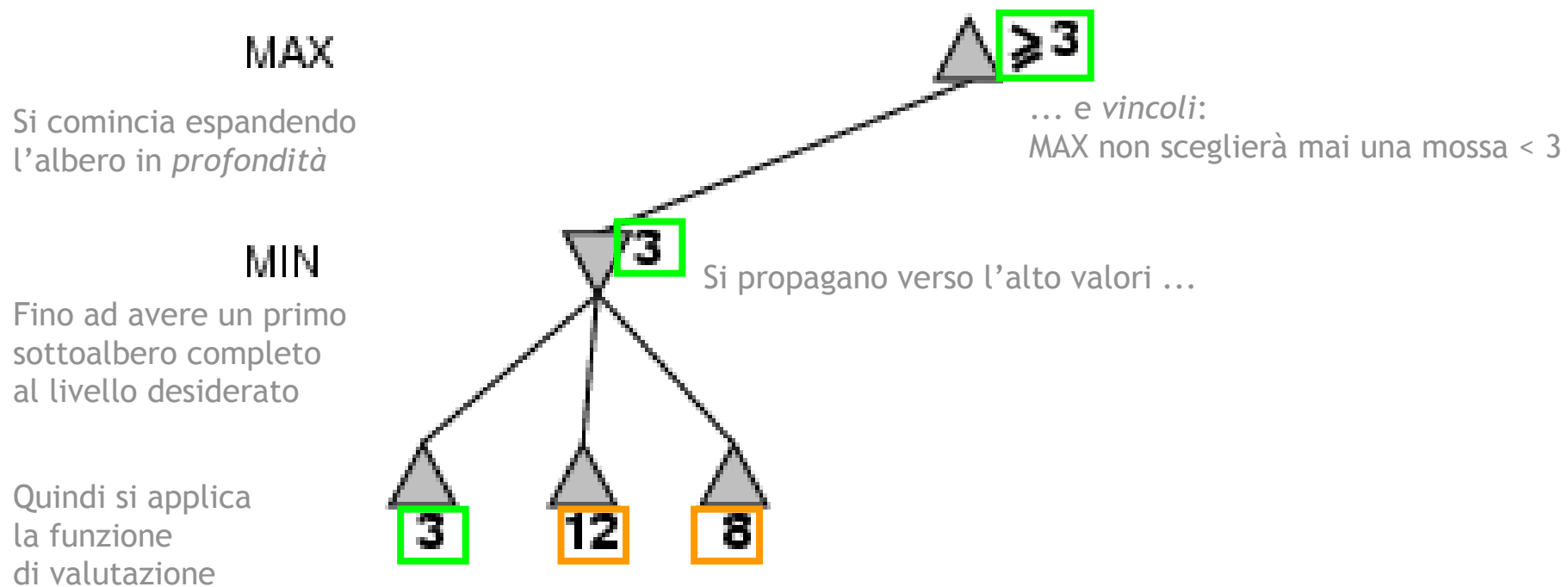
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

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



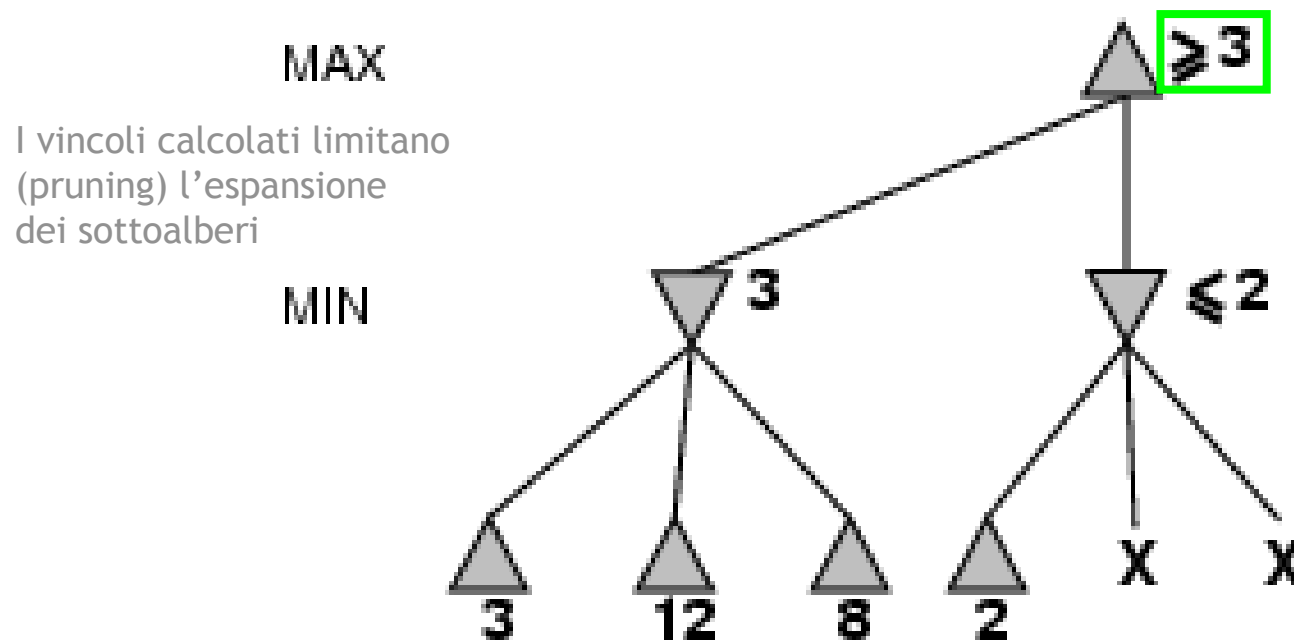
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

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



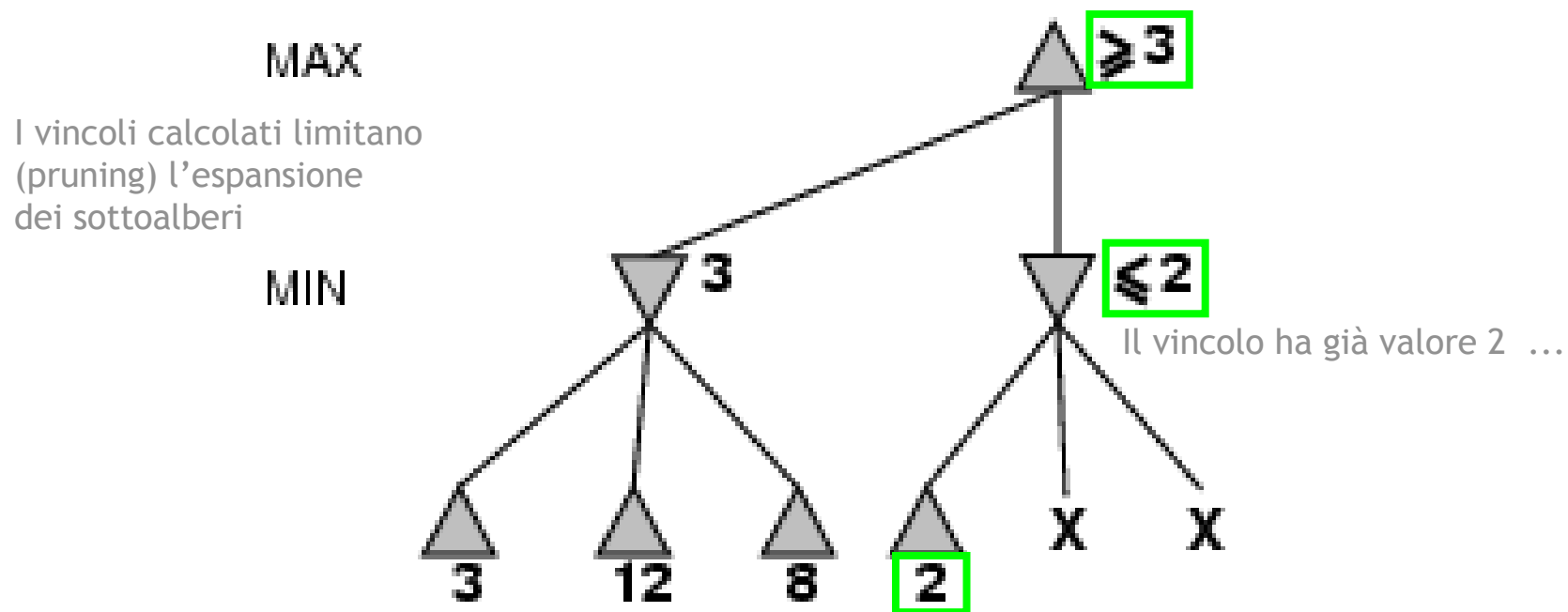
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

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



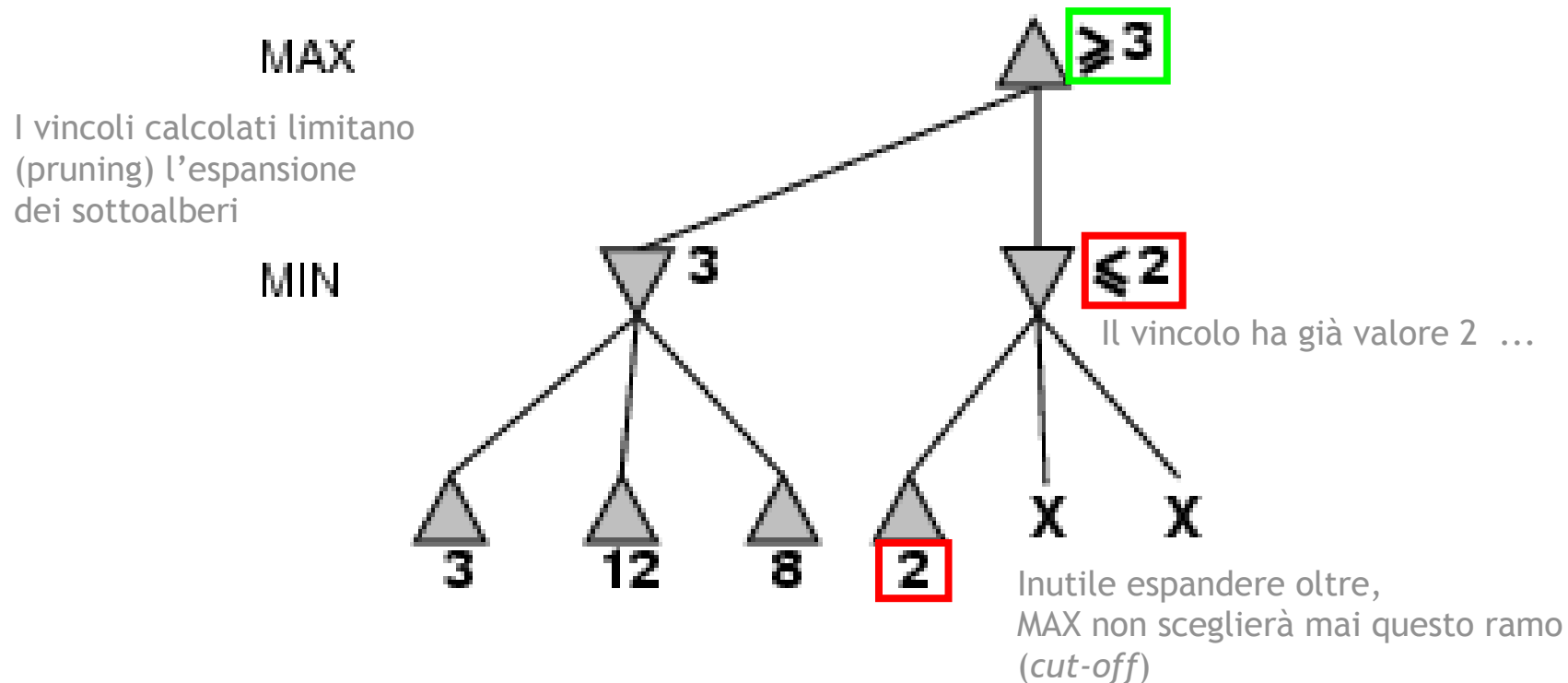
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

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



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

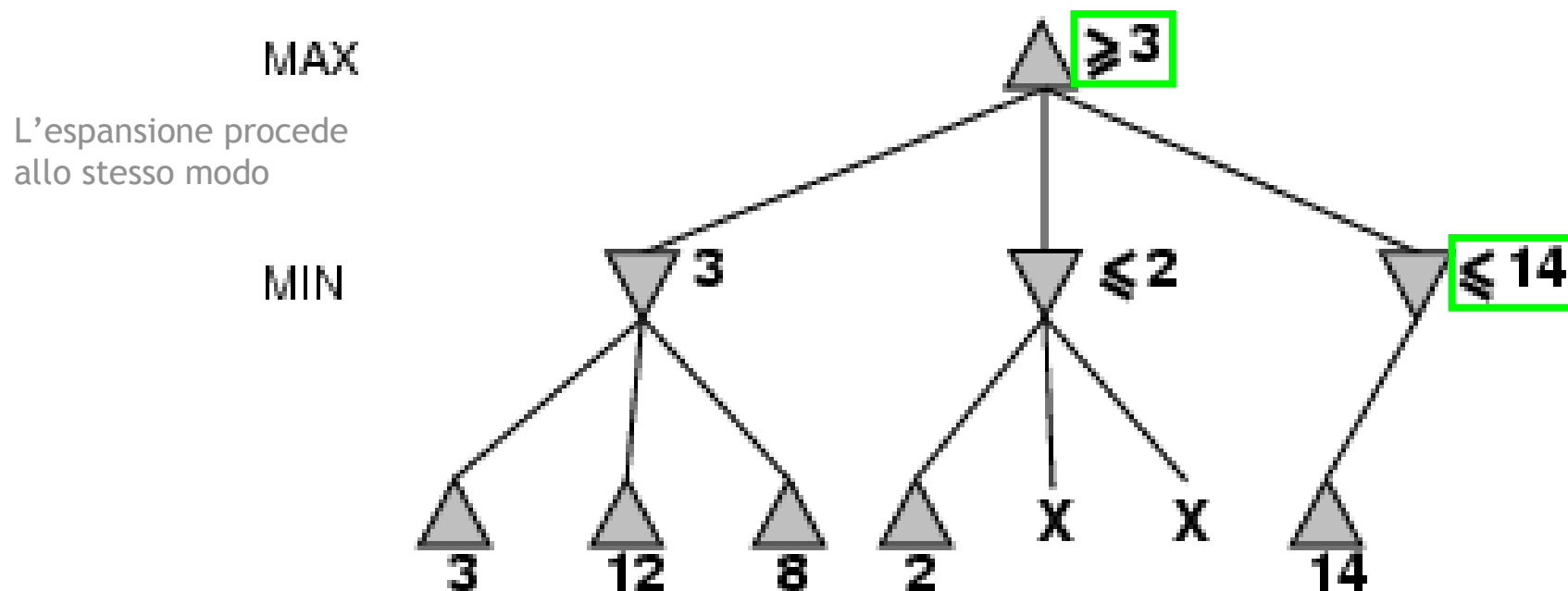
Si espande l'albero descrittivo tenendo conto dei valori della funzione di valutazione





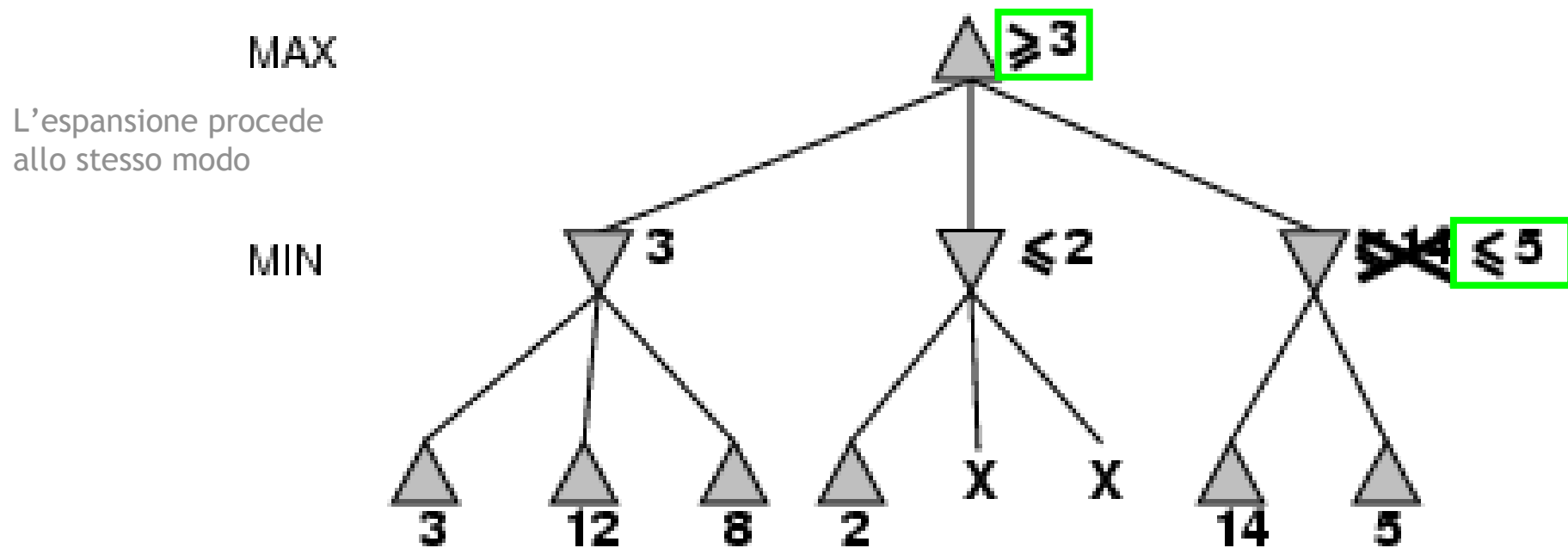
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

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



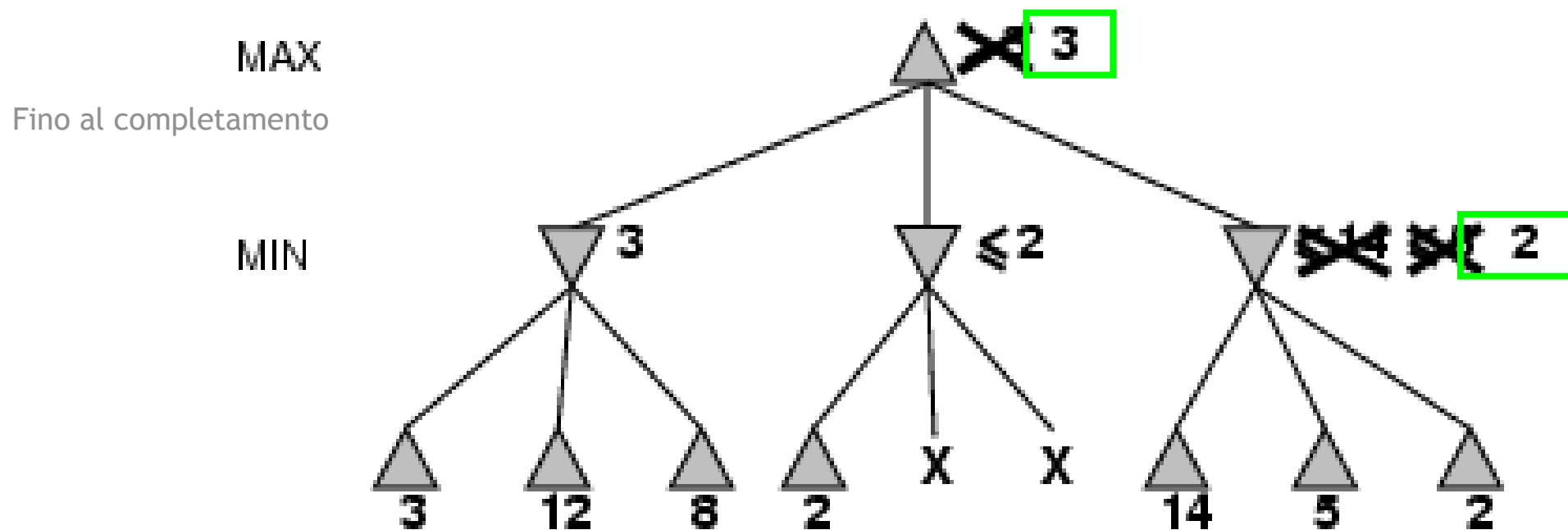
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

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



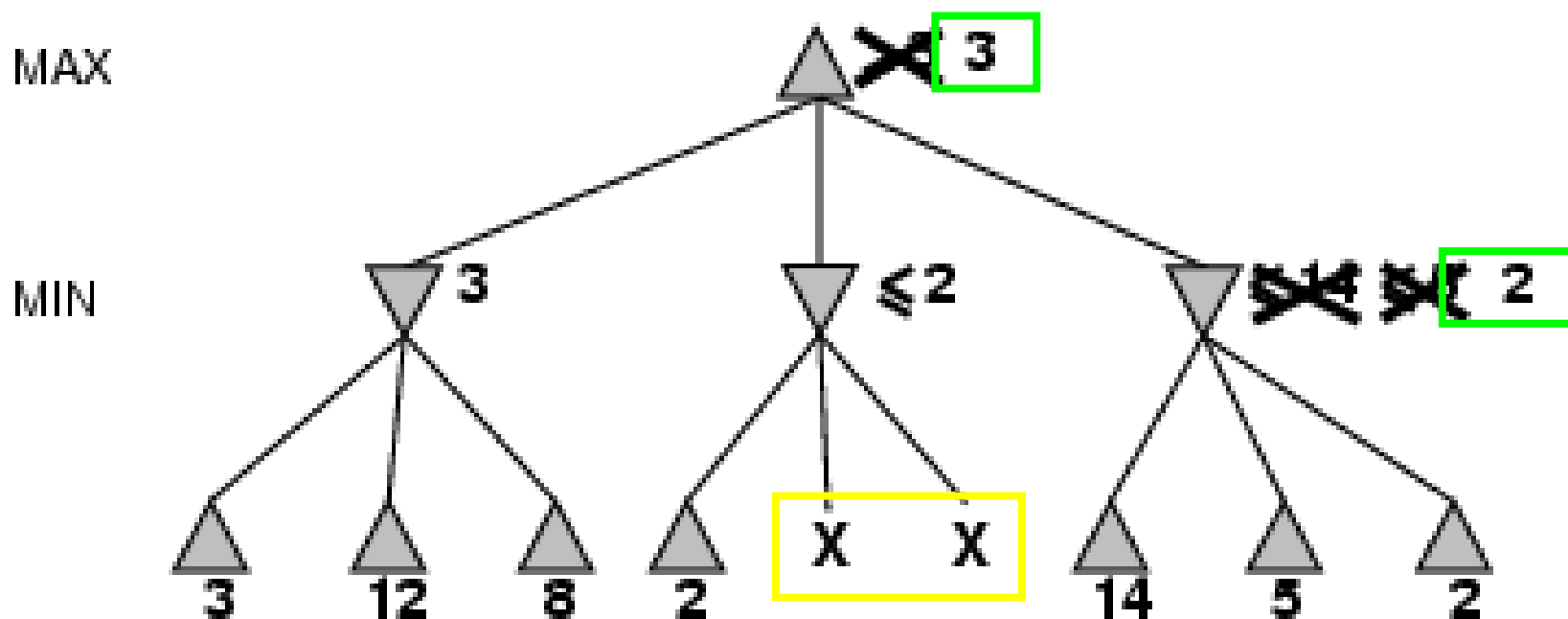
# Strategia "A": *Alpha-Beta pruning*

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



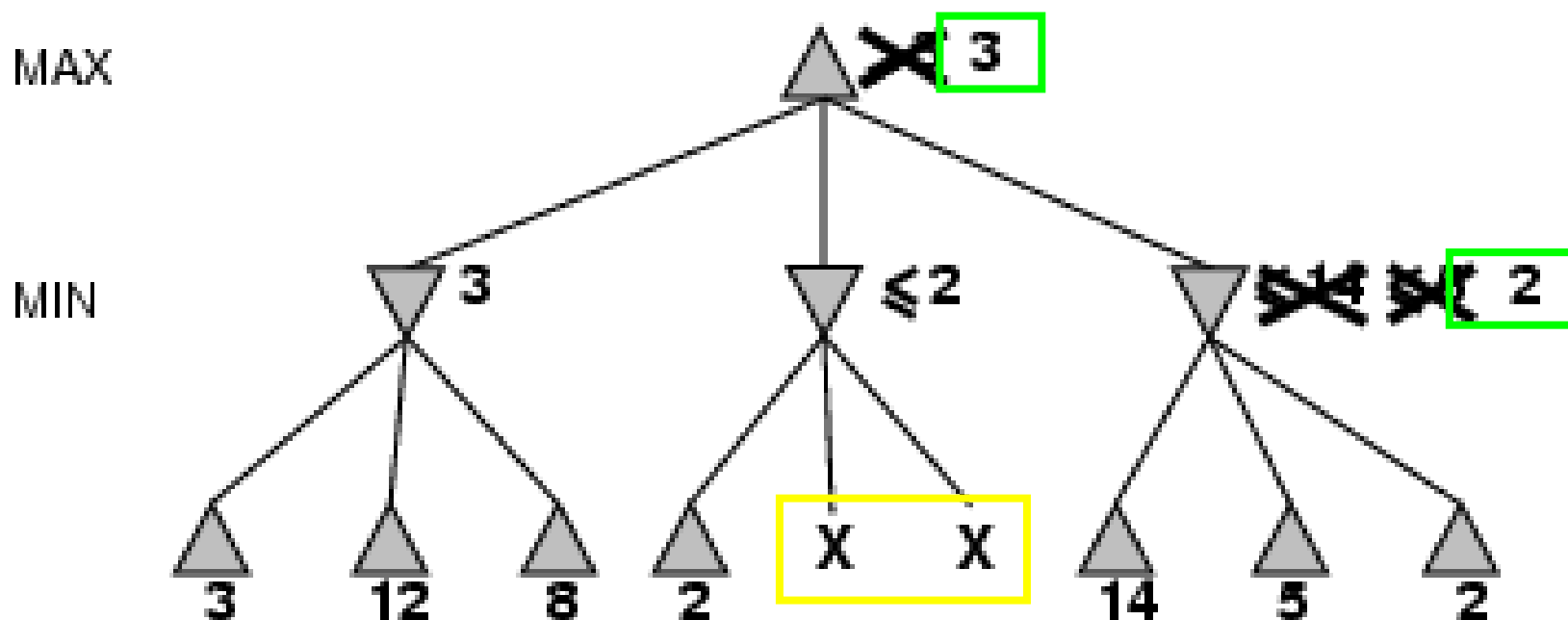
Stesso risultato del *minimax*  
ma questa parte non è stata espansa

# 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*, non lo *alpha-beta pruning*)

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

# 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*, non lo *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)

# Strategia "A" ed ulteriori sviluppi

*Tecniche che non garantiscono un risultato equivalente al minimax*

- Esplorazione dell'albero

*Quiescence search (i.e. fino a che punto vale la pena di espandere l'albero?)*

Si espande l'albero finchè le mosse producono variazioni notevoli di valutazione

Un limite, noto come *horizon effect*, è che non si può mai dire ...

*Iterative deepening*

Avendo un tempo limitato, si espande solo fino ad una determinata profondità

Si approfondisce alla mossa successiva

- Funzione di valutazione

I programmi odierni usano funzioni di valutazione estremamente sofisticate

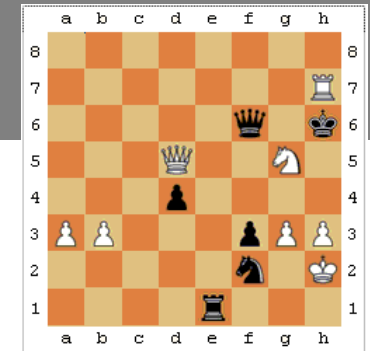
- Database di schemi

Le aperture e le chiusure di partita sono tipicamente governate da schemi memorizzati

Derivanti dagli studi dei grandi maestri umani e *dall'esperienza precedente*



# 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?

# "Intelligenza Artificiale"

## ■ Otto definizioni (più recenti) di IA

<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>

## ■ Classificazione delle definizioni di *sistema intelligente* (Russell, S., Norvig, P., 1995)

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

- Un sommesso tentativo, di definizione ulteriore ...

Sistemi che **agiscono**  
in modo *razionale*

- Un sommesso tentativo, di definizione ulteriore ...

Sistemi che **agiscono in modo autonomo**  
*governati da un computer*

- Un sommesso tentativo, di definizione ulteriore ...

Sistemi che **agiscono in modo 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

*L'intelligenza artificiale* è la disciplina che si occupa di come *governare* il comportamento dei sistemi autonomi

La *robotica* è la disciplina che si occupa della realizzazione complessiva dei sistemi autonomi

Altre discipline (storicamente derivate dalla IA) si occupano di aspetti specifici:

- La *visione artificiale* si occupa del riconoscimento visivo
- Il *machine learning* è lo studio di come apprendere dai dati e/o dall'esperienza
- Il *data mining* è lo studio di come ricavare informazioni utili dai dati disponibili

# 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?

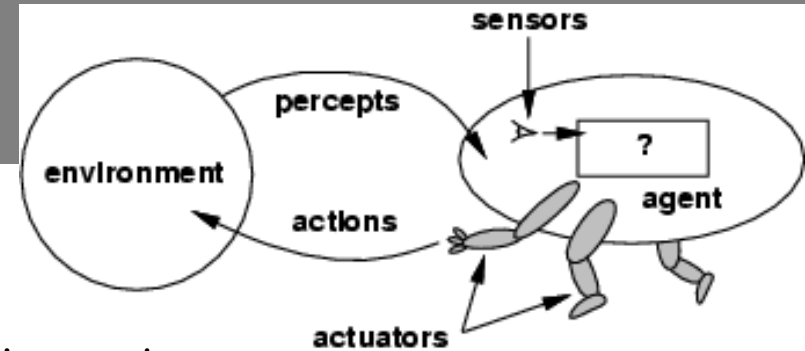
Un word processor è un sistema intelligente?

Mmm. Difficile, non è autonomo

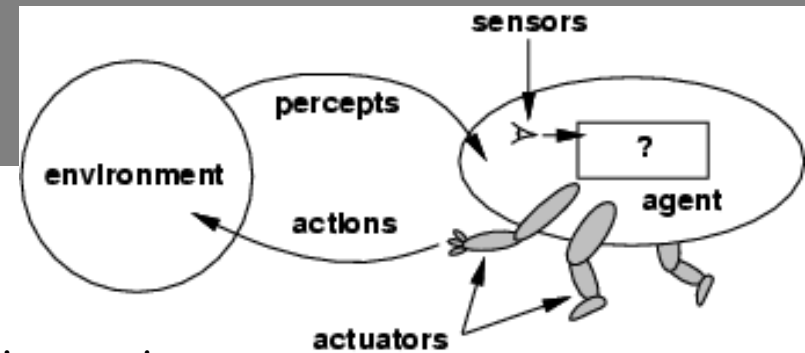
Un termostato?

Il demone *biff* di UNIX?

*Deep Blue*?



# 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 word processor è un sistema intelligente?

Mmm. E' dura: non è autonomo

Un termostato?

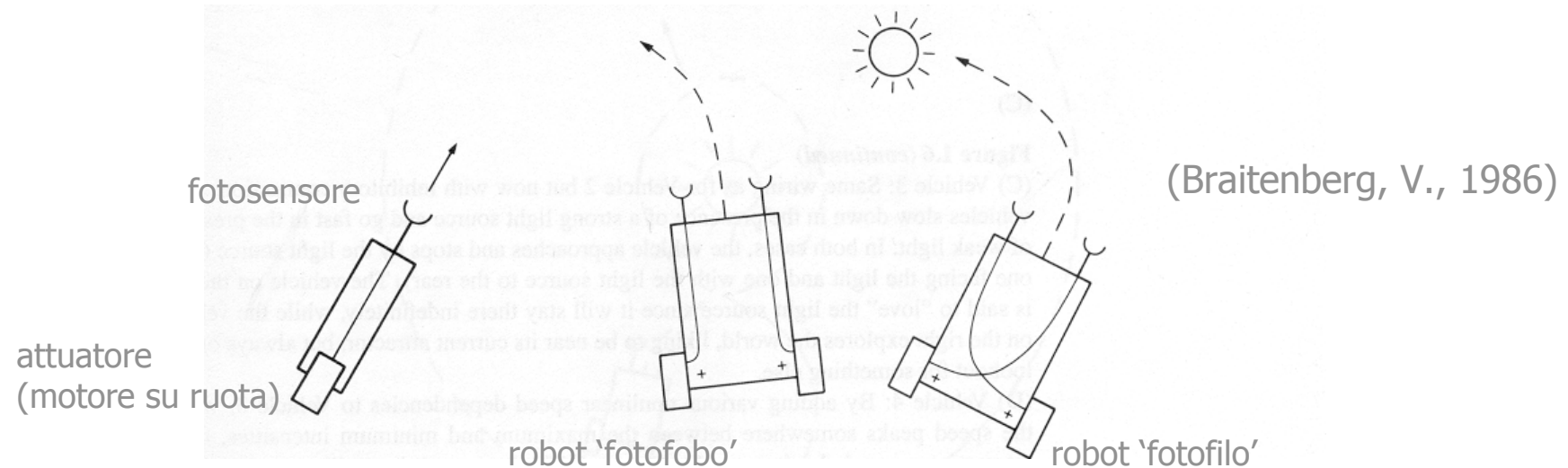
Il demone *biff* di UNIX?

*Deep Blue*?

Sommessa proposta: definizione *relativistica*

Intelligenza come qualità relativa: un sistema *A* è *più intelligente* di un sistema *B* se è governato in modo *più efficace*

# Comportamento reattivo



## ■ Connessione diretta

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

Il comportamento è comunque notevole ...



# Architettura reattiva

Per astrazione, dall'esempio precedente

La 'logica' che governa il sistema

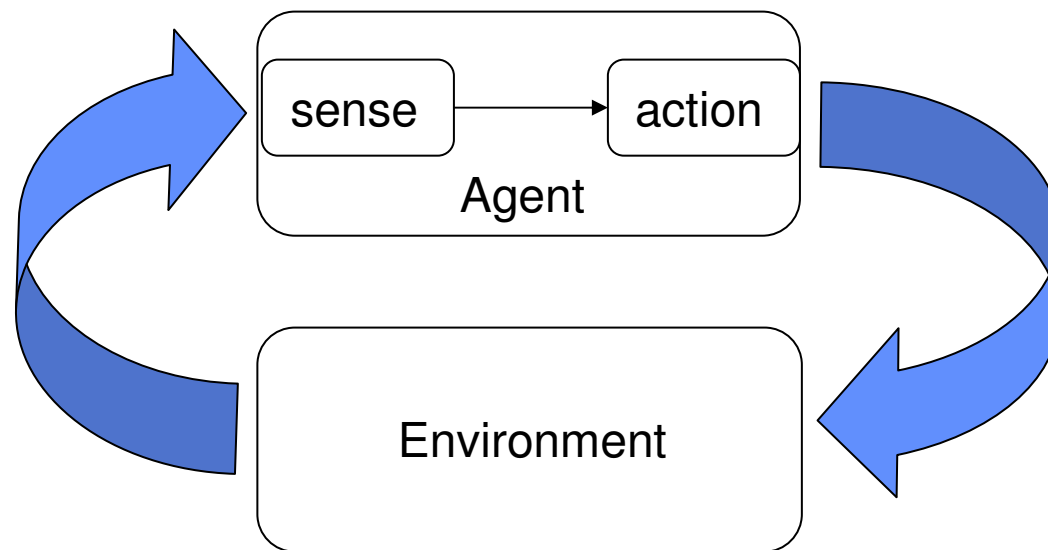
E' descritta da un'associazione sense → action

Può essere progettata

Può essere appresa

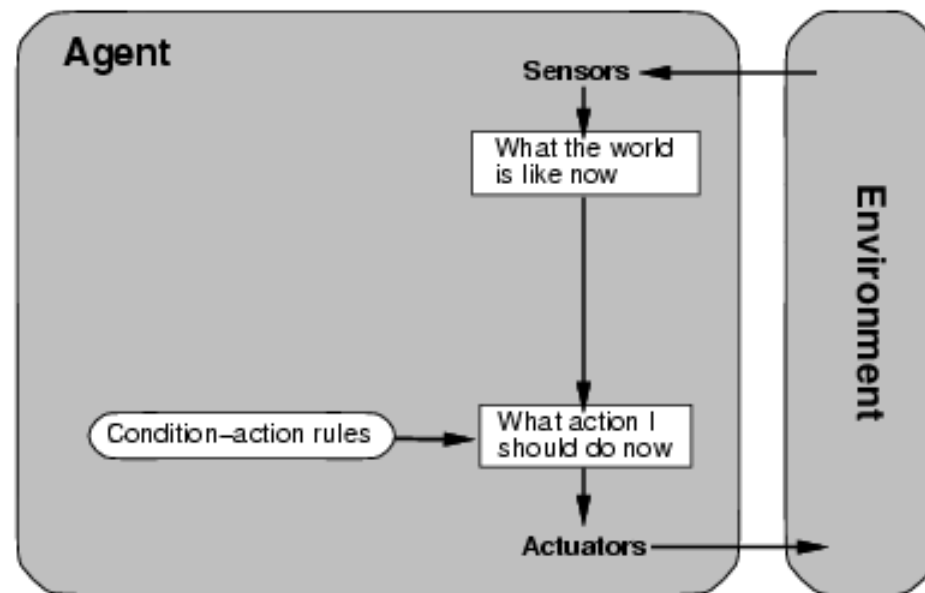
Può essere migliorata

E' comunque molto semplice: nemmeno il termostato funziona così ...



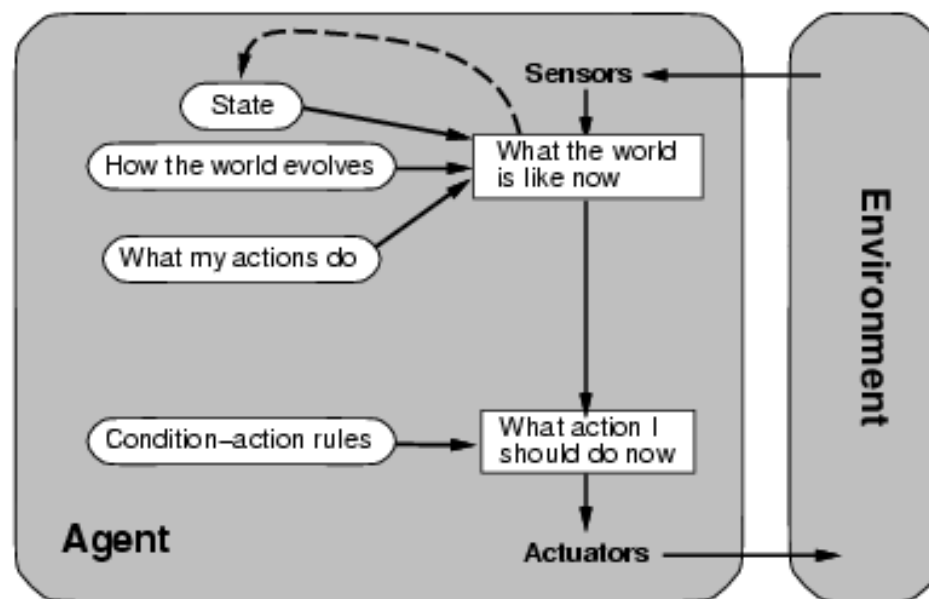
# Complessità crescente (Russell e Norvig, 1995)

Architettura reattiva, governata da regole



# Complessità crescente (Russell e Norvig, 1995)

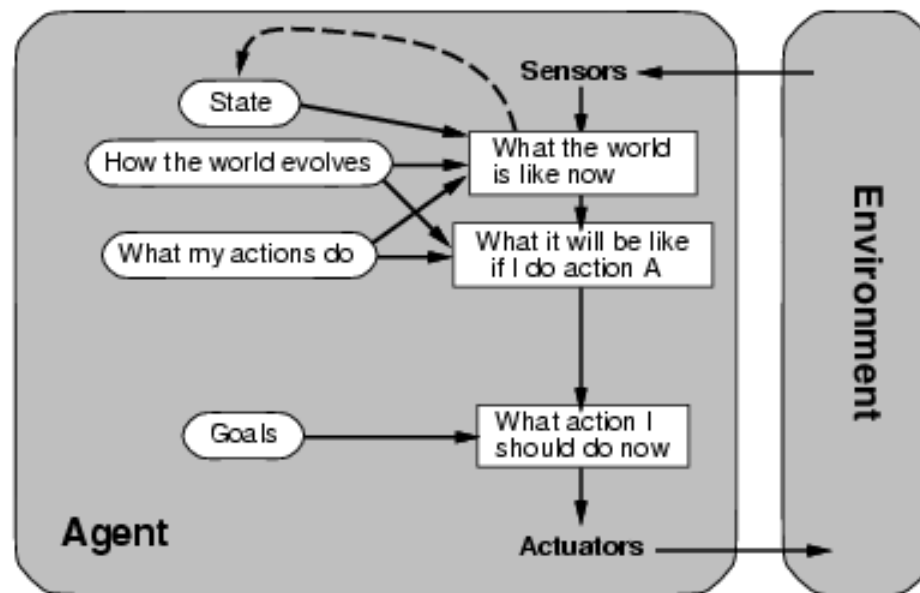
Rappresentazione esplicita (accessibile) dello *stato* del sistema



# Complessità crescente (Russell e Norvig, 1995)

Rappresentazione esplicita (accessibile) dello *stato* del sistema

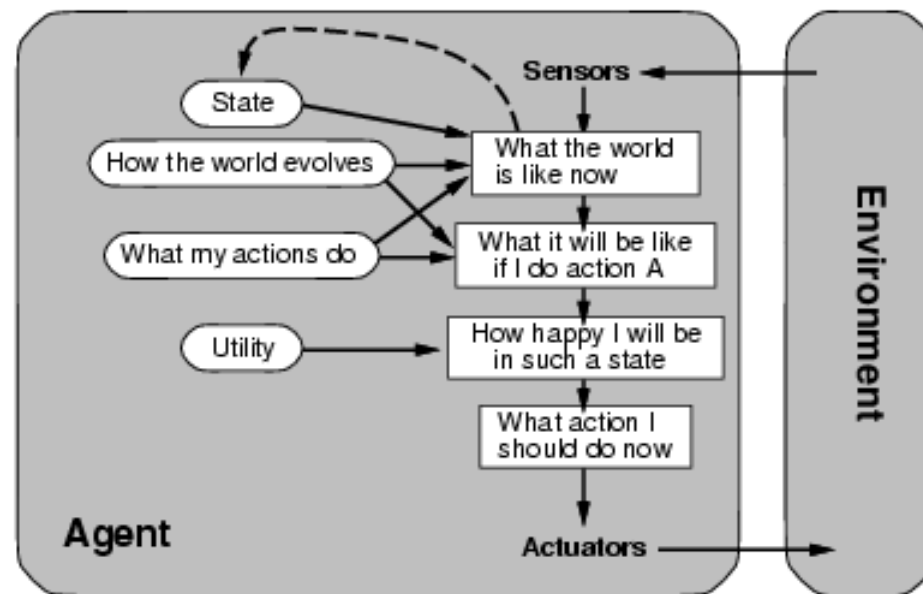
Rappresentazione esplicita degli obiettivi (*goal*) del sistema



# Complessità crescente (Russell e Norvig, 1995)

Rappresentazione esplicita (accessibile) dello *stato* del sistema

Rappresentazione esplicita degli vantaggi (*utility*) atteso dal sistema

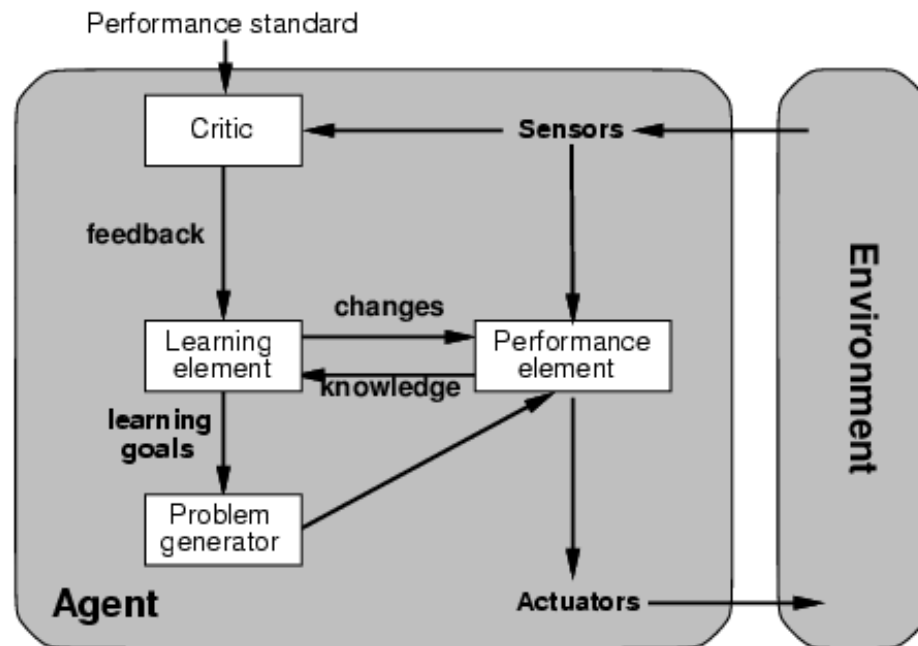


# Complessità crescente (Russell e Norvig, 1995)

- Sistemi che *apprendono*

In relazione ad uno standard di performance (*supervised*)

Da soli, in base all'efficacia delle proprie azioni (*unsupervised*)



# Procedural Reasoning System (Georgeff & Ingrand, 1989)

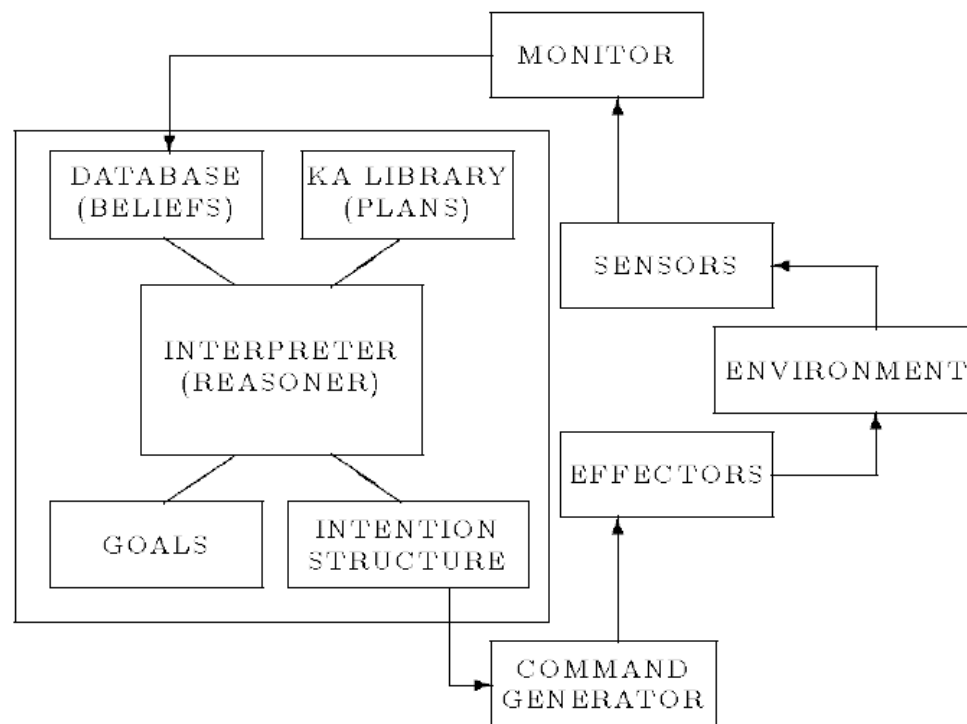
## ■ Architettura *Belief-Desire-Intention (BDI)*

Rappresentazione dei fatti ritenuti veri dal sistema (*beliefs*)

Rappresentazione degli obiettivi attualmente perseguiti (*goals/desires*)

Rappresentazione delle azioni da svolgere (*intentions*)

E' un sistema real-time ed usa risorse limitate



# Sistemi autonomi: ingredienti

- Rappresentazione

Associazioni, stato interno, *belief, desire, intention, utility*, schemi

In qualche modo dovranno essere rappresentate in memoria

- Ragionamento

Le rappresentazioni sono statiche

Come si compongono o si usano per governare il comportamento?

- Riconoscimento

Come si costruiscono le percezioni a partire dai segnali 'grezzi'?

Esempio eclatante: la visione

- Memoria selettiva

Come si identificano le informazioni utili nel database?

Esempio: identificazione di uno schema applicabile ad una situazione

- Apprendimento

Come si aumenta l'efficacia del comportamento in base all'esperienza?

Possibilmente astraendo regole più generali da esperienze specifiche



# Linguaggio e ragionamento

- 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.”

# 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***

  - Chi o che cosa esegue i processi?

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

# 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.”

# Gli elefanti sanno giocare a scacchi?

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

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

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)

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

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?)

# 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

# Razionalità, 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.”

# Connessionismo (IA2)

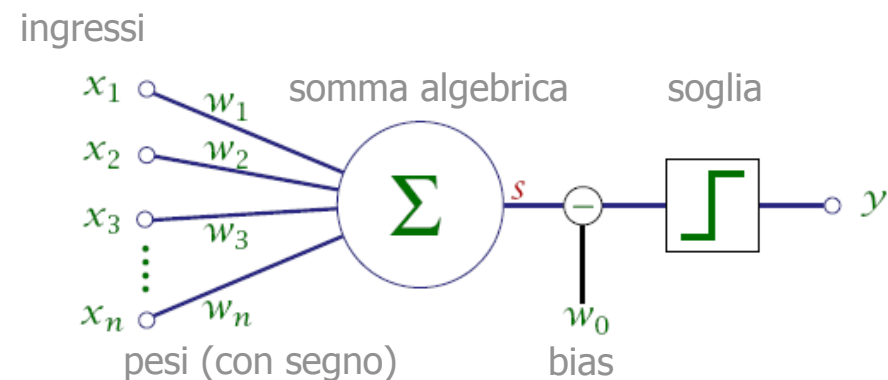
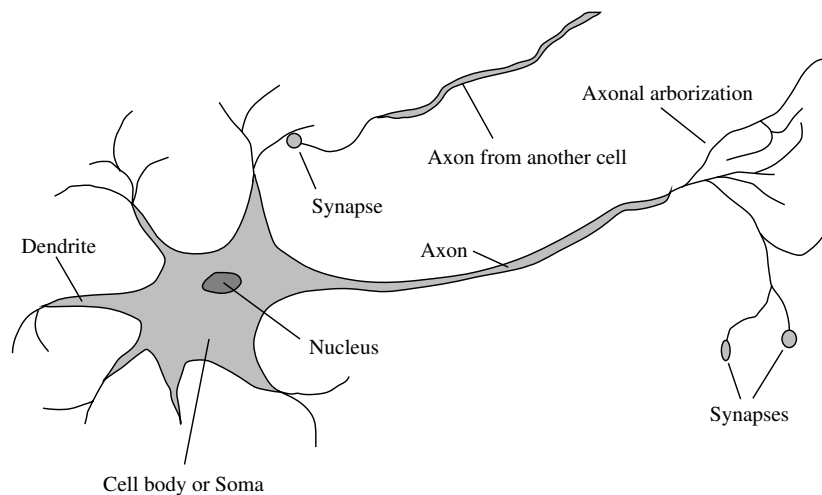
“Occorre considerare anche il *cervello*, non solo la mente”

un'ipotesi opposta al *disembodiment* tipico del ragionamento simbolico

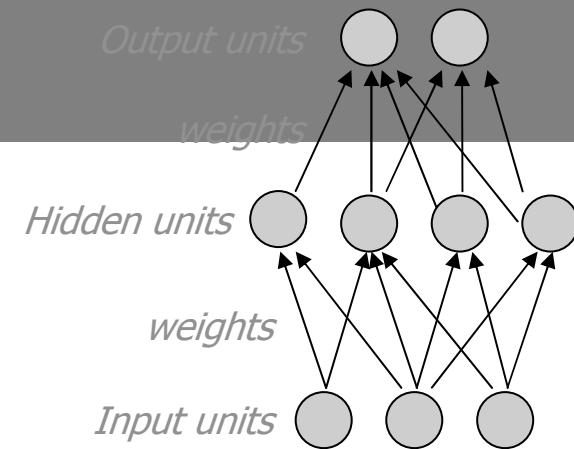
- **Neuroni artificiali derivati dallo studio della biologia**

Nel 1943, McCulloch e Pitts descrivono un modello computazionale formato da una rete interconnessa di neuroni artificiali definiti da un modello a soglia binaria.

Dimostrano che il comportamento della rete può essere descritto in termini di calcolo simbolico (logica del primo ordine)



# Reti neurali artificiali (IA2)



- **Processi sui segnali**

L'elaborazione si basa sulla propagazione dei segnali attraverso la rete, a partire dalle unità di input

Qualsiasi automa a stati finiti può essere tradotto in una rete neurale (con *feedback*, vedi oltre) (Minsky, M., 1967)

- **Divergenza dal sistema simbolico**

Il modello è fondato sulla fisicità dei **segnali** e non dei simboli

Il simbolo esiste solo nell'ambito del *comportamento osservabile* (p. es. una configurazione di segnali emessi dalle unità di output)

Non esiste una rappresentazione interna immediatamente riconoscibile

Elaborazione intrinsecamente parallela

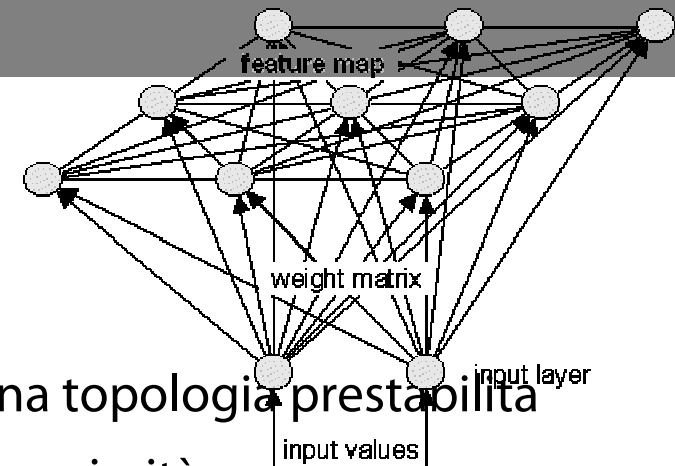
- **Apprendimento supervisionato**

Intorno al 1986 viene scoperto un metodo per l'apprendimento supervisionato (*backpropagation*)



# Self-Organizing Systems (IA2)

(Kohonen, T., *Self-Organizing Maps*, 1995)



- **Struttura (tipica) a due livelli**

Livello di input, con le unità connesse agli ingressi

Livello di mappa, con unità organizzate secondo una topologia prestabilita

Gli input modificano i pesi secondo un criterio di prossimità

- **Apprendimento non supervisionato**

Le SOM si adattano progressivamente alla 'forma' del segnale in input

I nodi 'si specializzano'

