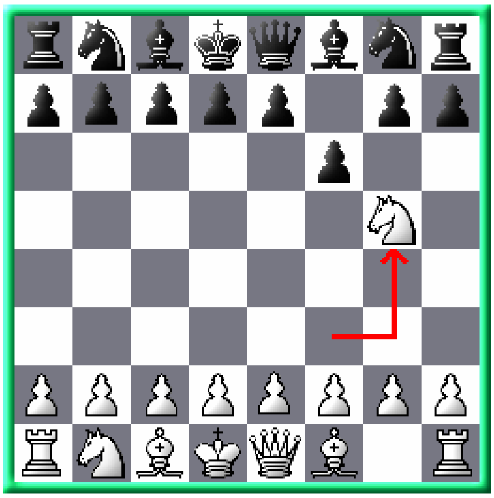
Ricerca con avversari: GIOCHI

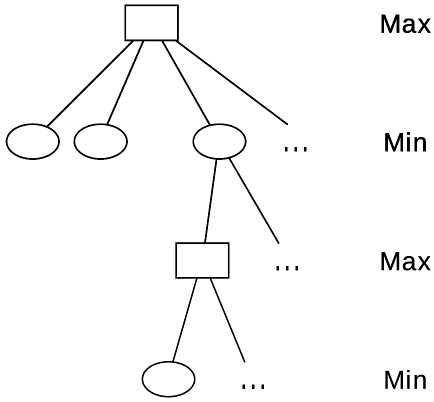
- Ambiente multi-agente che deve tenere conto della presenza di un “avversario”
- Teoria dei giochi→ branca dell’economia
- Giochi formali (piu’ che reali), anche se esiste annualmente una competizione di calcio fra robot
- Attualmente le macchine hanno superato gli esseri umani in Othello, Dama, Scacchi, Backgammon.
- Non ancora con Go.

GIOCHI

- L'intelligenza artificiale considera giochi con le seguenti proprietà:
  - 1) Sono giochi a due giocatori (min e max) in cui le mosse sono alternate e le funzioni di utilita` complementari (vince e perde);
  - 2) Sono giochi con conoscenza perfetta in cui i giocatori hanno la stessa informazione (non tipicamente i giochi di carte quali poker, bridge ecc).
- Lo svolgersi del gioco si può interpretare come un albero in cui la radice è la posizione di partenza e le foglie le posizioni finali.

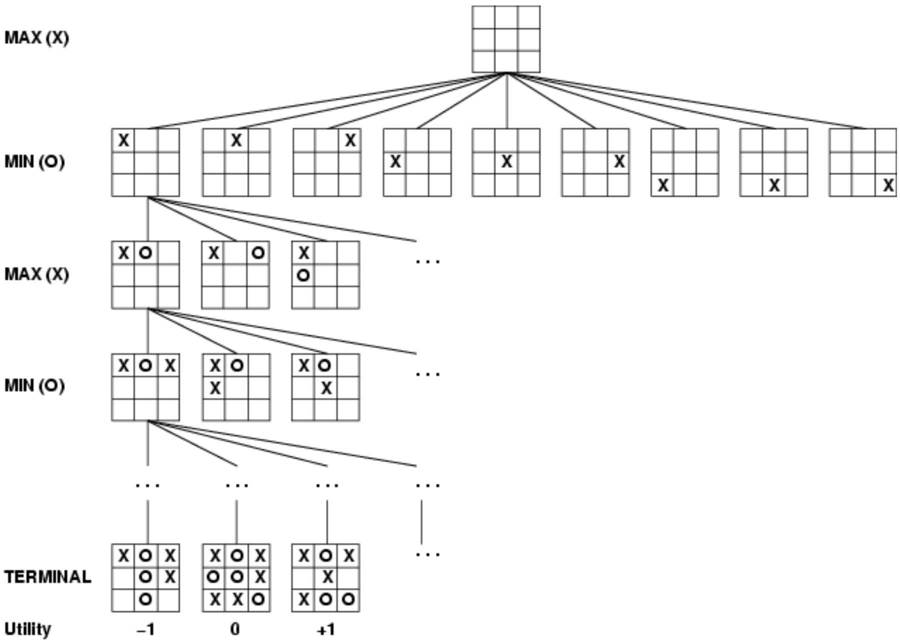
GIOCHI IN IA





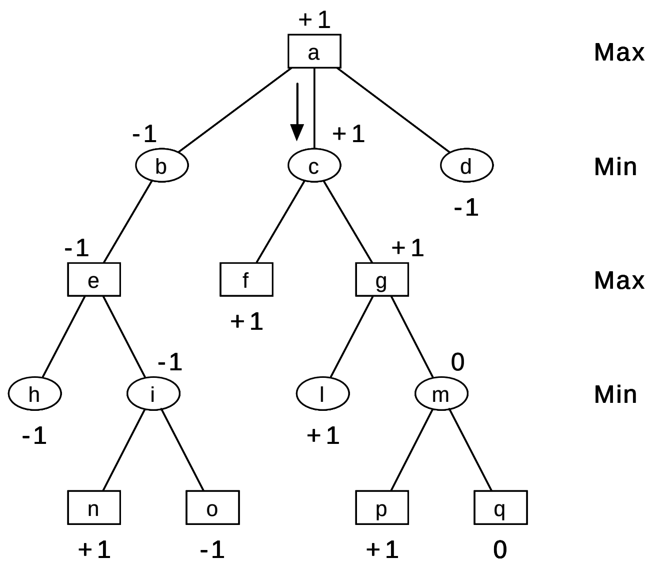
Albero di gioco

Albero di gioco (2-giocatori, deterministico, giocano alternandosi)



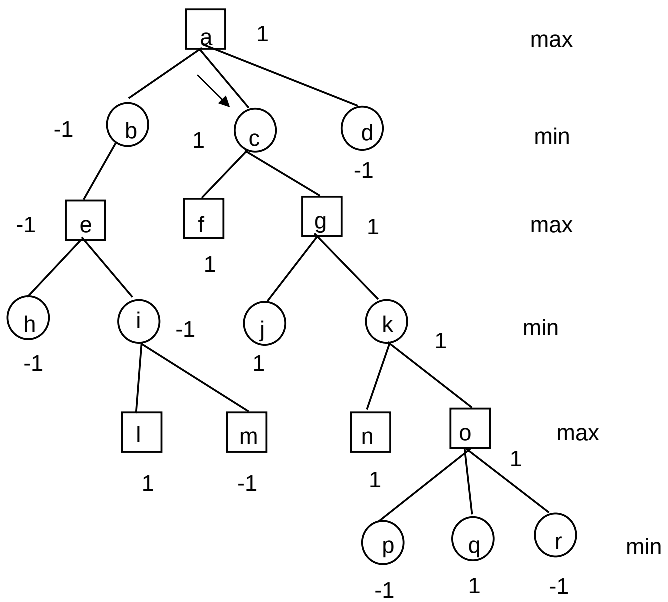
ALGORITMO MIN-MAX

- L'algoritmo minmax è progettato per determinare la strategia ottimale per "Max" e per suggerirgli, di conseguenza, la prima mossa migliore da compiere; per fare questo, ipotizza che "Min" faccia la scelta a lui più favorevole.
- Non e' interessante la "strada", ma solo la prossima mossa



MIN-MAX

- Sono etichettate con 1 e -1. Un giocatore cerca di arrivare a -1 (minimizzatore), l'altro a +1 (massimizzatore).



MIN-MAX

- Per i quadri tocca muovere al max, per i cerchi al min.
- Consideriamo il nodo o.
  - Deve muovere il max. Il gioco termina comunque. Può muovere p ed r e perdere, oppure q e vincere. Supponiamo che muova q.
  - o è quindi una posizione vincente. (+1)
- Consideriamo il nodo k.
  - Comunque muova min, perde. Quindi l'etichetta è (+1).
  - Consideriamo il nodo i. Min ha un'opzione vincente dunque (-1).
- Quindi:
  - Un nodo con max che deve muovere ha come label il massimo delle labels dei figli. Viceversa per min.

ALGORITMO MIN-MAX

- Per valutare un nodo n:
  - 1) Espandi l'intero albero sotto n;
  - 2) Valuta le foglie come vincenti per max o min;
  - 3) Seleziona un nodo n' senza etichetta i cui figli sono etichettati. Se non esiste ritorna il valore assegnato ad n;
  - 4) Se n' è un nodo in cui deve muovere min assegna ad esso il valore minimo dei figli, se deve muovere max assegna il valore massimo dei figli. Ritorna a 3.
- Patta: si assegna il valore 0.
- Si possono assegnare dei valori ai nodi che poi vengono aggiornati quando si espandono i figli.
- Complessita` in tempo e spazio = b^d

ALGORITMO MIN-MAX (rivisto-> in profondita`)

- Per valutare un nodo n in un albero di gioco:
  - 1) Metti in L = (n) i nodi non ancora espansi.
  - 2) Sia x il primo nodo in L. Se x = n e c'è un valore assegnato a esso ritorna questo valore.
  - 3) Altrimenti se x ha un valore assegnato Vx, sia p il padre di x e Vp il valore provvisorio a esso assegnato.
  - Se p è un nodo min, Vp= min(Vp,Vx), altrimenti Vp=max(Vp,Vx). Rimuovi x da L e torna allo step 2.
  - 4) Se ad x non è assegnato alcun valore ed è un nodo terminale, assegnagli o1, -1, o 0. Lascia x in L perchè si dovranno aggiornare gli antenati e ritorna al passo 2.
  - 5) Se a x non è stato assegnato un valore e non è un nodo terminale, assegna a Vx = -infinito se X è un max e Vx = + infinito se è un min. Aggiungi i figli di x a L **in testa** e ritorna allo step 2.
  - Complessita` in spazio bd.

Proprieta` di Min-Max

- Completo? Si` (se l'albero e' finito)□
- Ottimale? Si` (contro un avversario che gioca al meglio)□
- Complessita` Temporale? O(b^m)□
- Complessita` spaziale? O(bm) (depth-first)□

- Per gli scacchi , b ≈ 35, m ≈100 for partire "ragionevoli"
  → impensabile tale soluzione!!!□

- DOBBIAMO POTARE L' "ALBERO"!!!

ALGORITMO MIN-MAX RIVISTO

- Se devo sviluppare tutto l'albero la procedura è molto inefficiente (esponenziale).
- Se b è il fattore di ramificazione e d sono i livelli allora il numero dei nodi diventa b^d .
- La soluzione (Shannon, 1949): si guarda avanti solo per un po' e si valutano le mosse fini ad un nodo non terminale ritenuto di successo. In pratica si applica minimax fino ad una certa profondità.
- Utilizzo una certa funzione di valutazione per stimare la bontà di un certo nodo.

    e(n) = -1 sicuramente vincente per min;

    e(n) = +1 sicuramente vincente per max;

    e(n) = 0 circa le stesse probabilità;

  Poi valori intermedi per e(n).

ESEMPIO

- Negli scacchi sommare i valori dei pezzi che ogni giocatore ha e normalizzare il risultato in modo da avere un valore da +1 o -1.
- Ad esempio somma pesata di valori (lineare)

$$\mathit{Eval(s)} = w_1\, f_1(s) + w_2\, f_2(s) + \ldots + w_n\, f_n(s)$$

- e.g., $w_1 = 9$ con

  $f_1(s)$ = (numero di regine bianche) – (numero di regine nere), etc.

  potrebbe essere più raffinata tenendo conto delle posizioni relative: il re è difeso? Il pedone protegge un altro pezzo? ecc.

- Trade-off fra ricerca e funzione di valutazione.
- Supponiamo comunque di avere selezionato una funzione di valutazione e(n).

ALGORITMO MIN-MAX RIVISTO II

Per valutare un nodo n in un albero di gioco:

- 1) Metti in L = (n) i nodi non ancora espansi.
- 2) Sia x il primo nodo in L. Se x = n e c'è un valore assegnato a esso ritorna questo valore.
- 3) Altrimenti se x ha un valore assegnato Vx, sia p il padre di x e Vp il valore provvisorio a esso assegnato.
- Se p è un nodo min, Vp= min(Vp,Vx), altrimenti Vp=max(Vp,Vx). Rimuovi x da L e torna allo step 2.
- 4) Se ad x non è assegnato alcun valore ed è un nodo terminale, **oppure decidiamo di non espandere l'albero ulteriormente**, **assegnagli il valore utilizzando la funzione di valutazione e(x).** Lascia x in L perchè si dovranno aggiornare gli antenati e ritorna al passo 2.
- 5) Se a x non è stato assegnato un valore e non è un nodo terminale, assegna a Vx = -infinito se X è un max e Vx = + infinito se è un min. Aggiungi i figli di X a L e ritorna allo step 2.

Algoritmo MIN-MAX versione ricorsiva:

```
function MINIMAX-DECISION(state) returns an action
   v ← MAX-VALUE(state)
   return the action in SUCCESSORS(state) with value v

function MAX-VALUE(state) returns a utility value
   if TERMINAL-TEST(state) then return UTILITY(state)
   v ← −∞
   for a, s in SUCCESSORS(state) do
      v ← MAX(v, MIN-VALUE(s))
   return v

function MIN-VALUE(state) returns a utility value
   if TERMINAL-TEST(state) then return UTILITY(state)
   v ← ∞
   for a, s in SUCCESSORS(state) do
      v ← MIN(v, MAX-VALUE(s))
   return v
```

Nota: con eval rimpiazza TERMINAL-TEST con:
if CUTOFF-TEST(state,depth) then return EVAL(state)
Inoltre aggiorna depth ad ogni chiamata ricorsiva

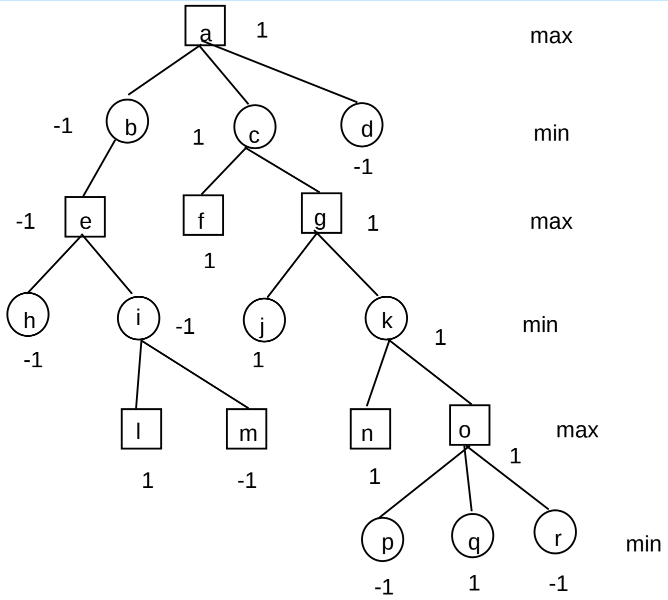
PROBLEMA

- Come decido che non voglio espandere ulteriormente l'albero?
- Nota: se e(n) fosse perfetta non avrei questo problema. Espanderei solo i figli della radice per decidere cosa fare.
- Soluzione possibile e semplice anche dal punto di vista computazionale: espando sempre fino ad una certa profondità p.
- Problemi:
  - Mosse tatticamente più complicate (con valori che si modificano più ampiamente per e(n)) dovrebbero essere valutate con più profondità fino alla quiescenza (valori di e(n) che cambiano molto lentamente).
- Effetto orizzonte:
  - Con mosse non particolarmente utili, allungo la profondità dell'albero di ricerca oltre p, se p è la profondità massima, per cui le mosse essenziali non vengono in realtà prese in considerazione.
- Soluzione: a volte conviene fare una ricerca secondaria, mirata sulla mossa scelta.

TAGLI ALFA BETA

- Da tutto quello detto fino ad ora risulta che i computer che giocano semplicemente cercano in alberi secondo certe proprietà matematiche.
- Perciò considerano anche mosse e nodi che non si verificheranno mai.
- Si deve cercare di ridurre lo spazio di ricerca.
- La tecnica più conosciuta è quella del taglio alfa-beta.

ESEMPIO

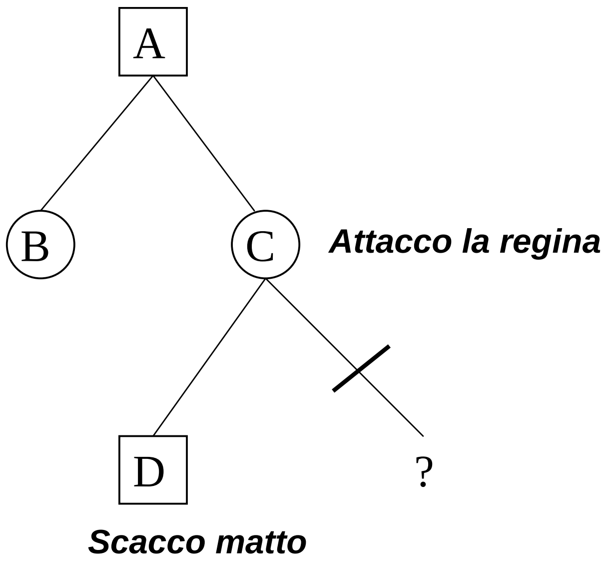


- Quando ho scoperto che la mossa verso c è vincente, non mi interessa espandere i nodi di b e d.
- I nodi sotto b non andranno mai ad influenzare la scelta.

PRINCIPIO GENERALE DEI TAGLI ALFA-BETA

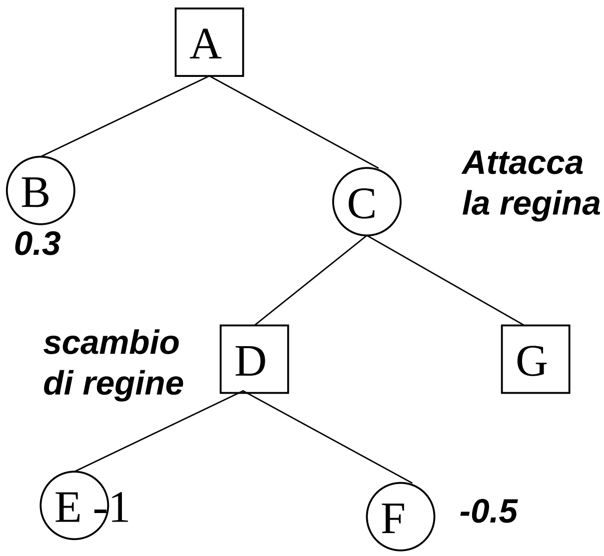
- Si consideri un nodo N nell'albero. Il giocatore si muoverà verso quel nodo?
- Se il giocatore ha una scelta migliore M a livello del nodo genitore od in un qualunque punto di scelta precedente, N non sarà mai selezionato. Se raggiungiamo questa conclusione possiamo eliminare N.
- Sia ALFA il valore della scelta migliore trovata sulla strada di MAX (il più alto) e BETA il valore della scelta migliore trovata sulla strada di MIN (il più basso).
- L'algoritmo aggiorna ALFA e BETA e taglia quando trova valori peggiori.

ESEMPIO



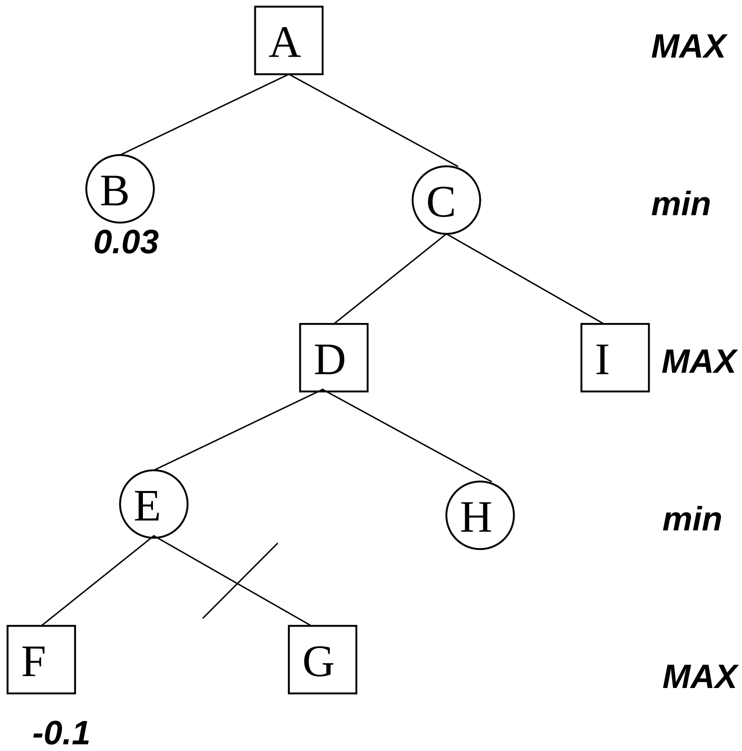
- Non importa che valuti gli altri figli di C! (ho già capito che non mi conviene fare la mossa C).

ALTRO ESEMPIO



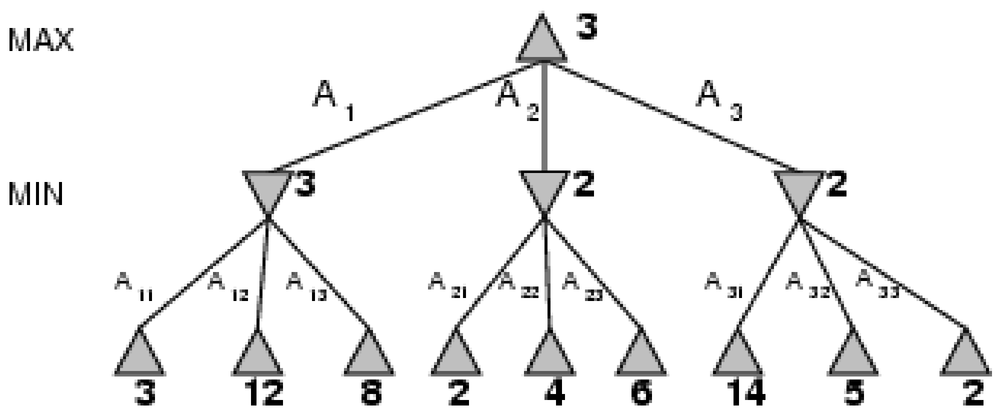
- Evito C, perché B è comunque meglio. Al piu' 0,5 per max
- Il sottoalbero in G può essere tagliato poiché non mi conviene comunque selezionare C.
  Infatti: C = min(-0.5, g);
  A = max(0.3,min(-0.5,g)) = 0.3
  poiché A è indipendente da G, l'albero sotto G può essere tagliato.

ALTRO ESEMPIO

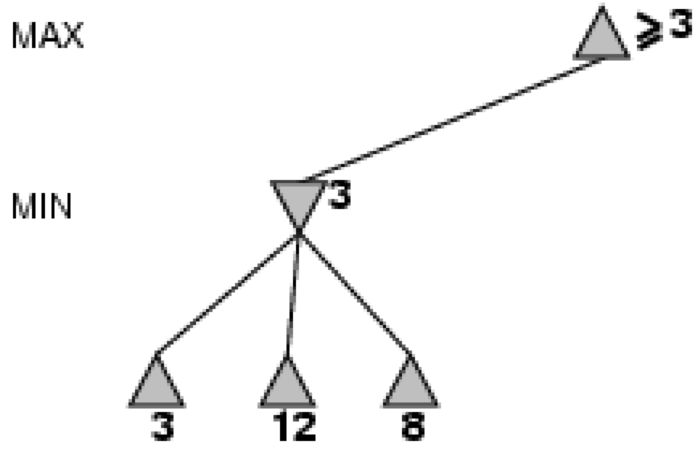


- **G è sulla linea di ricerca che sarà sviluppata?**
- Se G è sulla linea di ricerca, allora anche E lo è. Da E min può sempre ottenere -0.1 che è peggio di .03 per max. Quindi g non può essere nella corrente linea di ricerca.

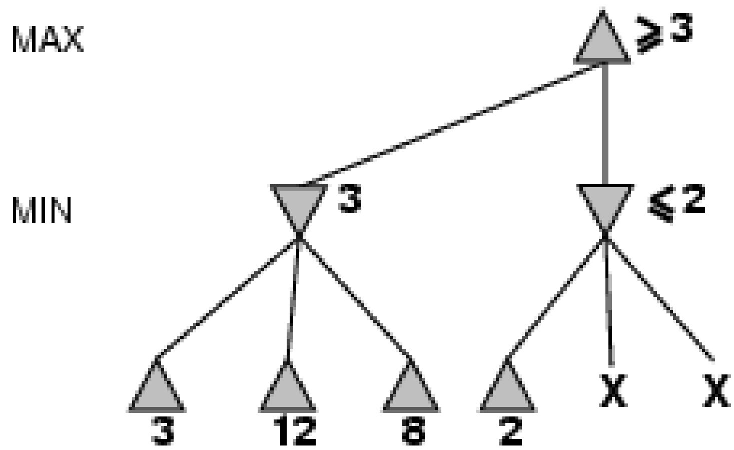
Minimax



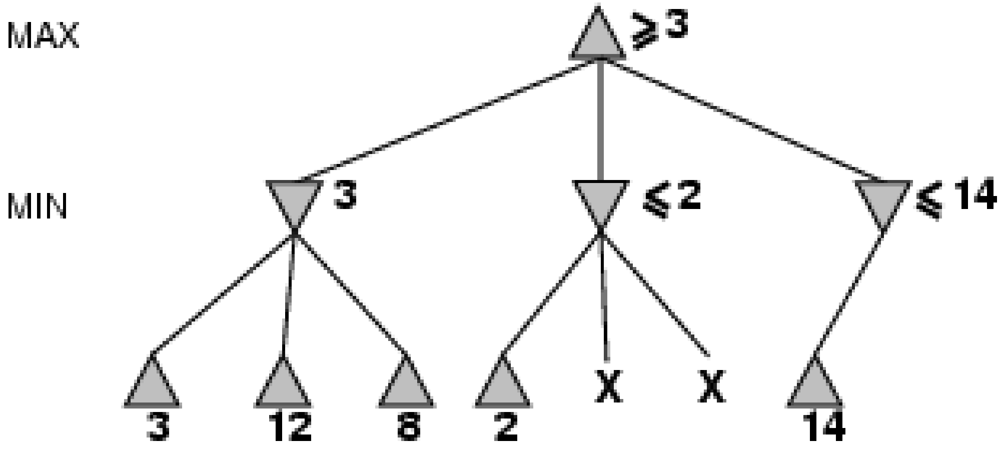
Esempio Tagli α-β



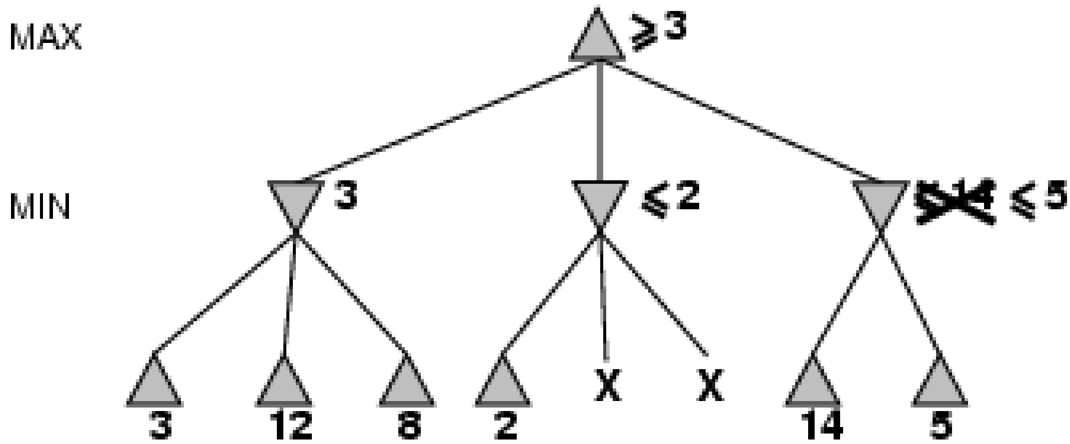
Esempio Tagli α-β



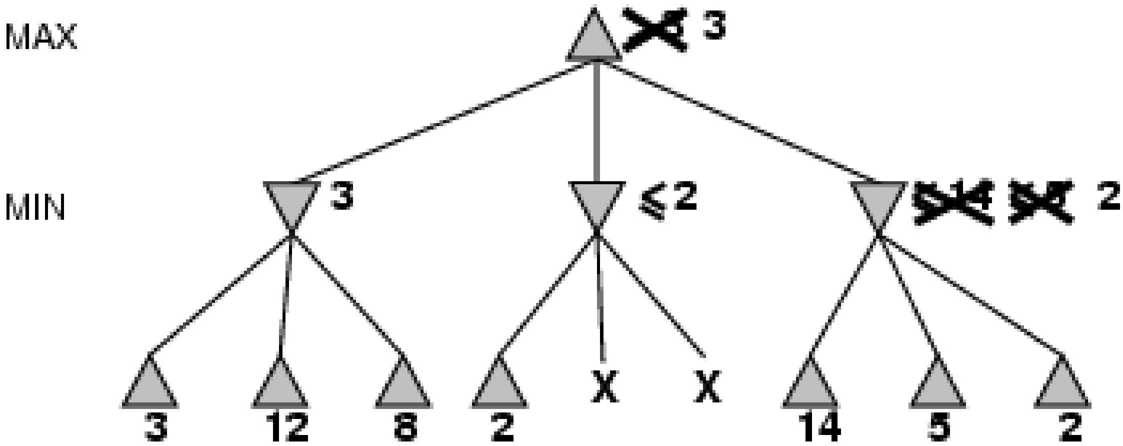
Esempio Tagli α-β



Esempio Tagli α-β



Esempio Tagli α-β



ALGORITMO ALFA-BETA

- Per valutare un nodo n in un albero di gioco:
  - 1) Metti in L = (n) i nodi non ancora espansi.
  - 2) Sia x il primo nodo in L. Se x = n e c'è un valore assegnato a esso ritorna questo valore.
  - 3) Altrimenti se x ha un valore assegnato Vx, sia p il padre di x. Se a x non è assegnato un valore vai al passo 5.
    - Determiniamo se p ed i suoi figli possono essere eliminati dall'albero. Se p è un nodo min, sia alfa il massimo di tutti i correnti valori assegnati ai fratelli di p e dei nodi min che sono antenati di p.
    - Se non ci sono questi valori alfa = - infinito.
    - Se Vx <= alfa rimuovi p e tutti i suoi discendenti da L (dualmente se p è un max).

ALGORITMO ALFA-BETA

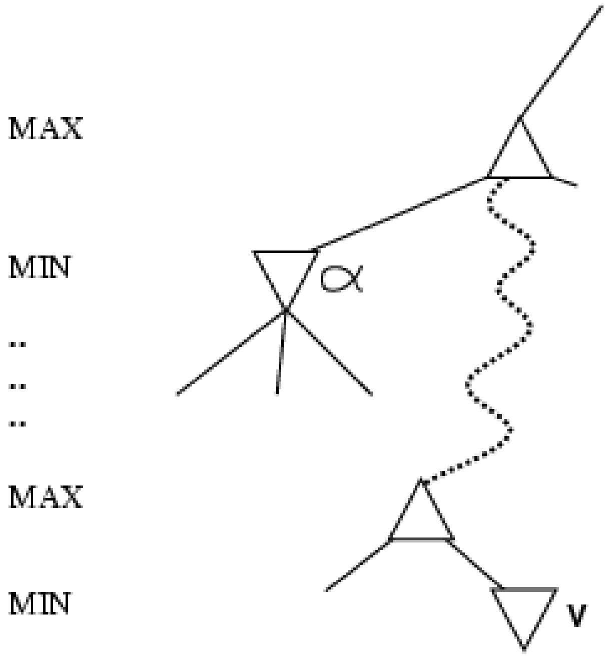
- 4) Se p non può essere eliminato, sia Vp il suo valore corrente. Se p è un nodo min, Vp= min(Vp,Vx), altrimenti Vp=max(Vp,Vx). Rimuovi x da L e torna allo step 2.
- 5) Se a x non è assegnato alcun valore ed è un nodo terminale, oppure decidiamo di non espandere l'albero ulteriormente, assegnagli il valore utilizzando la funzione di valutazione e(x). Lascia x in L perché si dovranno aggiornare gli antenati e ritorna al passo 2.
- 6) Se a x non è stato assegnato un valore e non è un nodo terminale, assegna a Vx = -infinito se X è un max e Vx = + infinito se è un min. Aggiungi i figli di X ad L e ritorna allo step 2.

ALGORITMO ALFA-BETA

- Il valore che corrisponde ad alfa per gli antenati max è chiamato beta
  - Determiniamo se p ed i suoi figli possono essere eliminati dall'albero. Se p è un nodo max, sia beta il massimo di tutti i correnti valori assegnati ai fratelli di p e dei nodi max che sono antenati di p.
  - Se non ci sono questi valori beta = + infinito.
  - Se Vx >= beta rimuovi p e tutti i suoi discendenti da L

Perche’ e’ chiamata α-β?

- α e’ il valore migliore (i.e., piu’ alto) trovato in ogni punto di scelta per max□
- Se *v* e’ peggio di α, *max* lo evitera`
  - → taglia quel ramo non appena avrai raggiunto tale conclusione
  - → Nel caso di v nodo min, se uno dei suoi figli ha valore minore o uguale di α
- β e’ definito in modo simile per *min*□



The α-β algorithm

function Alpha-Beta-Search(*state*) **returns** *an action*
  inputs: *state*, current state in game

  $v \leftarrow$ Max-Value(*state*, $-\infty$, $+\infty$)
  return the *action* in Successors(*state*) with value v

---

function Max-Value(*state*, α, β) **returns** *a utility value*
  inputs: *state*, current state in game
    α, the value of the best alternative for MAX along the path to *state*
    β, the value of the best alternative for MIN along the path to *state*

  if Terminal-Test(*state*) **then return** Utility(*state*)
  $v \leftarrow -\infty$
  for a, s in Successors(*state*) **do**
    $v \leftarrow$ Max(v, Min-Value(s, α, β))
    if $v \geq \beta$ **then return** v
    $\alpha \leftarrow$ Max(α, v)
  return v

The α-β algorithm

```
function MIN-VALUE(state, α, β) returns a utility value
   inputs: state, current state in game
           α, the value of the best alternative for MAX along the path to state
           β, the value of the best alternative for MIN along the path to state

   if TERMINAL-TEST(state) then return UTILITY(state)
   v ← +∞
   for a, s in SUCCESSORS(state) do
      v ← MIN(v, MAX-VALUE(s, α, β))
      if v ≤ α then return v
      β ← MIN(β, v)
   return v
```


EFFICACIA DEI TAGLI

- Ovviamente se valutiamo sempre i nodi peggiori, i nodi valutati successivamente risultano sempre nella linea corrente di ricerca e non c'è nessun taglio.
- Il caso migliore è quando i nodi migliori sono valutati per primi. I restanti vengono sempre tagliati (ovviamente e` del tutto teorico).
- In questo caso si va a ridurre il numero dei nodi da b^d a $b^{d/2}$. (in pratica, si riduce della radice quadrata il fattore di ramificazione, ovvero si può guardare due volte più avanti nello stesso tempo).
- Giocatore Principiante → Giocatore Esperto
- Nel caso medio con distribuzione casuale dei valori ai nodi, il numero di nodi diventa circa $b^{3d/4}$.
- Quindi è importante ordinate bene i figli di un nodo.
- Si noti inoltre che tutti i risultati qui citati sono per un albero di gioco “ideale” con profondità e ramificazione fissati per tutti i rami e nodi.

IL GIOCO DEGLI SCACCHI

- La dimensione del problema è enorme. Solo all'inizio partita le mosse possibili sono 400, diventano più di 144.000 alla seconda .....
- In particolare, gli scacchi hanno un fattore di ramificazione ~ 35 e ~ 50 mosse per ciascun giocatore. Quindi avremmo 35^{100} nodi. (in realtà le mosse lecite sono 10^{40}).
- Occorre quindi una funzione di valutazione. In particolare, si darà un peso a ciascun pezzo, ma questo non è sufficiente.
- Si deve tener conto anche della posizione relativa dei pezzi (due torri incolonnate valgono a volte più della stessa regina).

ESEMPIO: VALUTAZIONE DI UN CAVALLO

- Il valore materiale di un cavallo è 350 punti. Il principale aggiustamento a tale valore base è dato da un bonus che premia le posizioni centrali, da 0 punti negli angoli, a 100 punti al centro.
- Un altro bonus viene assegnato a quei cavalli che si trovano entro le due case di distanza da un pezzo nemico. Tale bonus varia con l'avanzamento della partita valendo al massimo 4 punti verso la fine del gioco.
- Un terzo bonus viene assegnato a quei cavalli in posizione favorevole rispetto a quella dei pedoni avversari.
- Viene invece inflitta una penalità in base alla distanza da ciascun re, pari ad un punto per ciascuna casa di distanza.

ESEMPIO: VALUTAZIONE DI UN CAVALLO

- Anche il momento della partita è importante. Ad esempio i cavalli sono importanti nel centro partita ma non lo sono in un finale di partita con pochi pezzi.
- Ma anche dare un peso a tutte queste componenti non è sufficiente, occorre anche una funzione che leghi al meglio tutti questi parametri.
- L'altra scelta è di quanto scendere in profondità nell'albero delle soluzioni. Ci si aspetta che la macchina risponda in un tempo paragonabile a quello di un giocatore umano.
- Un computer medio elabora circa 1000 posizioni al secondo (ma può arrivare anche a 2.500).
- Ogni mossa richiede al massimo 150 secondi. Quindi un computer elabora circa 150.000 mosse possibili che corrispondono a circa 3-4 livelli giocando ad un livello da principiante).

TAGLI ALFA BETA: diventano essenziali

- Gli attuali programmi scendono circa di 7 livelli ed elaborano circa 250.000 posizioni per volta ma in particolari condizioni possono arrivare fino a 20 livelli e 700.000 posizioni.
- Inoltre quasi tutti i programmi utilizzano il tempo che il giocatore umano impiega per scegliere la sua mossa per esplorare altre strade.
- Il giocatore umano, in realtà sembra non scenda mai per più di 5 livelli, e con tagli notevoli. Non utilizza poi una funzione di valutazione definita in modo metodico (usa il "colpo d'occhio").

TAGLI ALFA BETA: diventano essenziali

- Il computer non è in grado di adottare una strategia globale, ma questa limitazione è spesso compensata da non commettere sviste o dimenticanze.
- Tutti i programmi di scacchi, inoltre, consultano la libreria delle aperture (ci sono un centinaio di aperture ormai completamente esplorate e che possono condizionare tutta la partita).
- Mentre il computer è fortissimo nel centro partita, il giocatore umano è più abile nel finale, dove la strategia posizionale è meno importante. Ma oggi i programmi di scacchi, proprio per ovviare a questo inconveniente, tendono a utilizzare librerie ed algoritmi specializzati per il finale.

DEEPBLUE

- Il 10/5/1997, a New York, una macchina ha battuto in un match di sei partite il campione del mondo (match DeepBlue – Kasparov – 2-1 e tre patte).
- Esiste un sistema di valutazione della forza di gioco (Elo) capace di misurare il progresso dei giocatori umani ed artificiali.
- I punti si guadagnano in tornei ufficiali:
  - Giocatore principiante: 500 punti Elo
  - Maestro: 2.200
  - Campione del Mondo: 2.800
  - Deep Blue: 3.000
- I giocatori artificiali possono classificarsi in due categorie in base al fatto che utilizzino hardware generico (PC) o hardware speciale (e' il caso di Deep Blue).
- In particolare, Deep Blue utilizza una macchina parallela general-purpose a 32 processori più 512 chip specializzati per la generazione di mosse e valutazione.

DEEPBLUE (continua)

- I grandi successi dei giocatori artificiali si sono verificati a partire dagli anni 80 di pari passo con i progressi delle tecnologie VLSI (la tecnica e' circa la stessa degli anni 60', ma e' aumentata la potenza di calcolo).
- L'approccio "forza bruta" si è rivelato il più pagante.
- Deep Blue arriva a esplorare alberi profondi 12/14 semimosse (~ 10^{11} posizioni) in circa 3 minuti. L'esplorazione piu' conveniente e' iterative deepening.
- Si calcola che ogni semimossa in più ci fa guadagnare circa 50/100 punti Elo.
- Nel futuro i giocatori artificiali giocheranno sempre meglio…
- Quindi gli scacchi si può considerare un sistema quasi risolto.