

Oltre la ricerca classica

Cap 4 — *Ricerca locale, ricerca online*

Alessio Micheli
a.a. 2015/2016

Credits: Maria Simi
Russell-Norvig

Risolutori “classici”

- Gli agenti *risolutori di problemi* “classici” assumono:
 - Ambienti completamente osservabili
 - Ambienti deterministici
 - Sono nelle condizioni di produrre *offline* un piano (una sequenza di azioni) che può essere eseguito senza imprevisti per raggiungere l’obiettivo.

Verso ambienti più realistici - Indice

- La ricerca sistematica, o anche euristica, nello spazio di stati è troppo costosa
 - Metodi di ricerca locale
- Assunzioni sull'ambiente da riconsiderare
 - Azioni non deterministiche e ambiente parzialmente osservabile
 - Piani condizionali, ricerca AND-OR, stati credenza
 - Ambienti sconosciuti e problemi di esplorazione (percezioni forniscono nuove informazioni dopo l'azione)
 - Ricerca *online*

Ricerca locale

Part 1

Assunzioni per ricerca *locale*

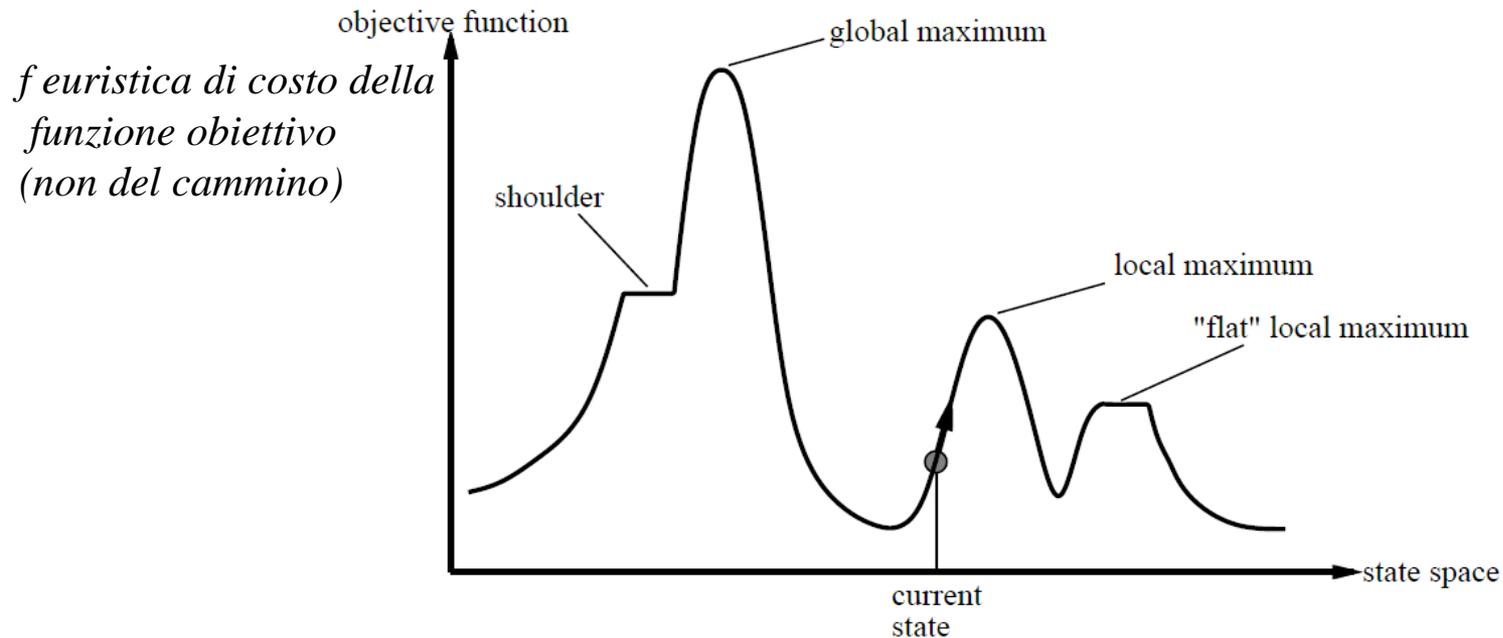
- Gli algoritmi visti esplorano gli spazi di ricerca alla ricerca di un goal e restituiscono un **cammino soluzione**
- Ma a volte lo stato **goal** è la **soluzione** del problema.
- Gli algoritmi di *ricerca locale* sono adatti per problemi in cui:
 - La sequenza di azioni non è importante: quello che conta è unicamente lo stato goal
 - Tutti gli elementi della soluzione sono nello stato ma alcuni vincoli sono violati.

Es. le regine nella formulazione a stato completo

Algoritmi di ricerca locale

- Non sono sistematici
- Tengono traccia solo del nodo corrente e si spostano su nodi adiacenti
- Non tengono traccia dei cammini
 1. Efficienti in occupazione di memoria
 2. Possono trovare soluzioni ragionevoli anche in spazi molti grandi e infiniti, come nel caso di spazi continui
- Utili per risolvere problemi di ottimizzazione
 - *lo stato migliore secondo una **funzione obiettivo***
 - *lo stato di **costo minore***

Panorama dello spazio degli stati



- Uno stato ha una posizione sulla superficie e una altezza che corrisponde al valore della f . di valutazione
- Un algoritmo provoca movimento sulla superficie
- Trovare l'avvallamento più basso (e.g. min costo) o il picco più alto (e.g. max di un obiettivo)

Ricerca in salita (*Hill climbing*) steepest ascent/descent

- Ricerca locale *greedy*
- Vengono generati i successori e valutati; viene scelto un nodo che migliora la valutazione dello stato attuale (non si tiene traccia degli altri [no albero di ricerca in memoria]):
 - il migliore → Hill climbing a salita rapida
 - uno a caso (tra quelli che salgono) → Hill climbing stocastico (anche dip. da pendenza)
 - il primo → Hill climbing con prima scelta
- Se non ci sono stati successori migliori l'algoritmo termina con fallimento

L'algoritmo Hill climbing

function Hill-climbing (*problema*)

returns uno stato che è un massimo locale

nodo-corrente = CreaNodo(*problema*.Stato-iniziale)

loop do

vicino = il successore di *nodo-corrente* di valore più alto

if *vicino*.Valore \leq *nodo-corrente*.Valore **then**

return *nodo-corrente*.Stato // interrompe la ricerca

nodo-corrente = *vicino*

// (altrimenti, se *vicino* non è migliore, continua)

- Nota: si prosegue solo se il vicino (più alto) è migliore dello stato corrente
→ Se tutti i vicini sono peggiori si ferma.
- Non c'è frontiera a cui ritornare, si tiene 1 solo stato
- Tempo: numero cicli variabile in base al punto di partenza

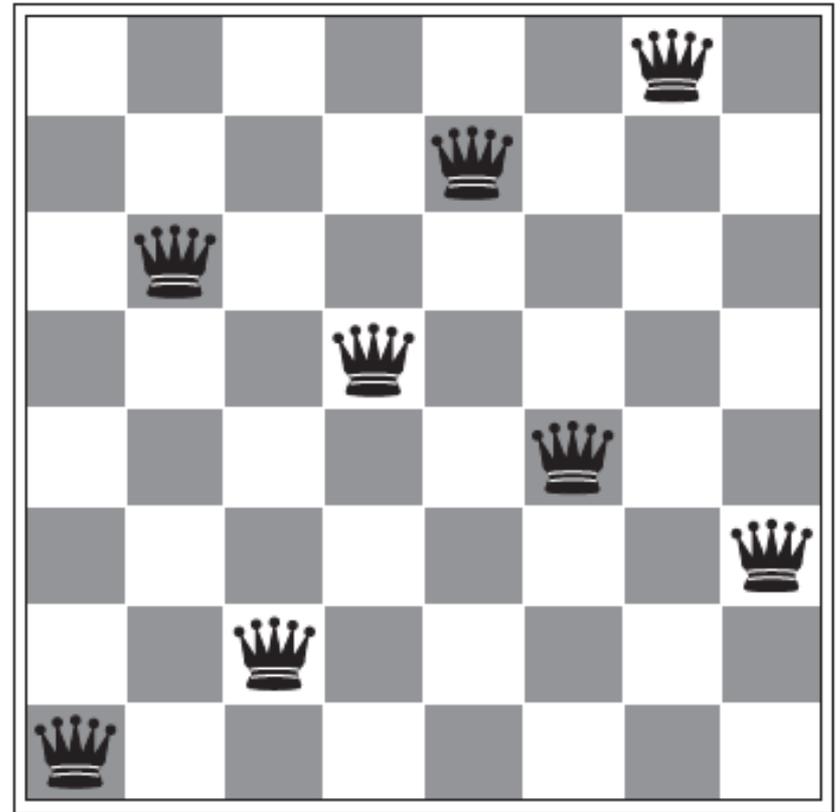
Il problema delle 8 regine

- *Costo h: numero di coppie di regine che si attaccano a vicenda (valore 17)*
- I numeri sono i valori dei successori (7×8) [7 pos. su colonna]
- Tra i migliori (valore 12) si sceglie a caso
- Mininimo globale = 0

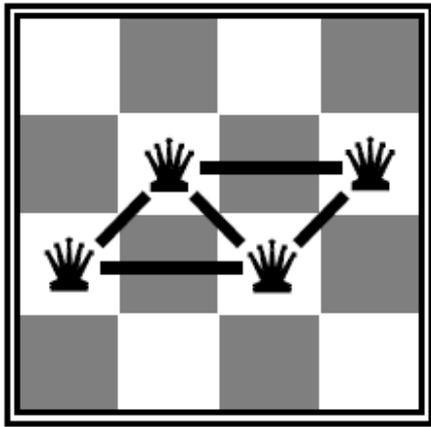
18	12	14	13	13	12	14	14
14	16	13	15	12	14	12	16
14	12	18	13	15	12	14	14
15	14	14	♔	13	16	13	16
♔	14	17	15	♔	14	16	16
17	♔	16	18	15	♔	15	♔
18	14	♔	15	15	14	♔	16
14	14	13	17	12	14	12	18

Un minimo locale

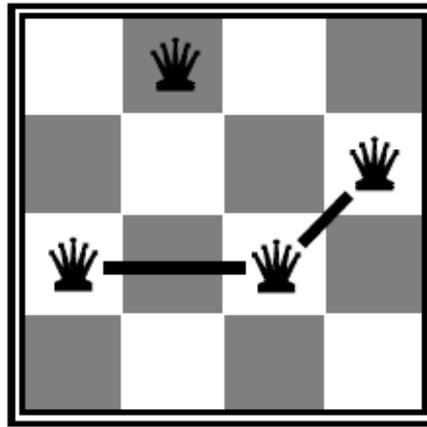
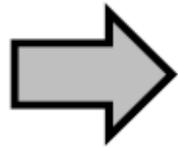
- $h = 1$
- Tutti gli stati successivi peggiorano la situazione
- Per le 8 regine Hill-climbing si blocca l'86% delle volte
- Ma in media solo 4 passi per la soluzione e 3 quando si blocca
- Su $8^8 = 17$ milioni di stati



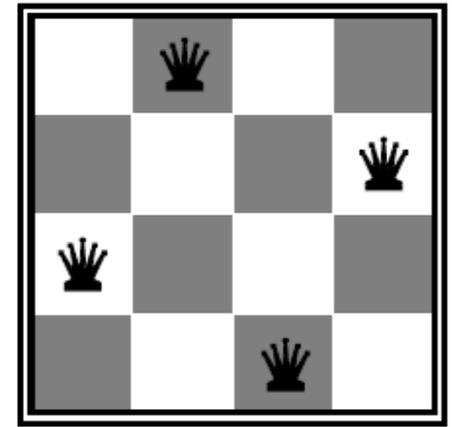
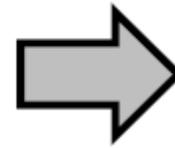
Esempio: successo in tre mosse



$h = 5$



$h = 2$

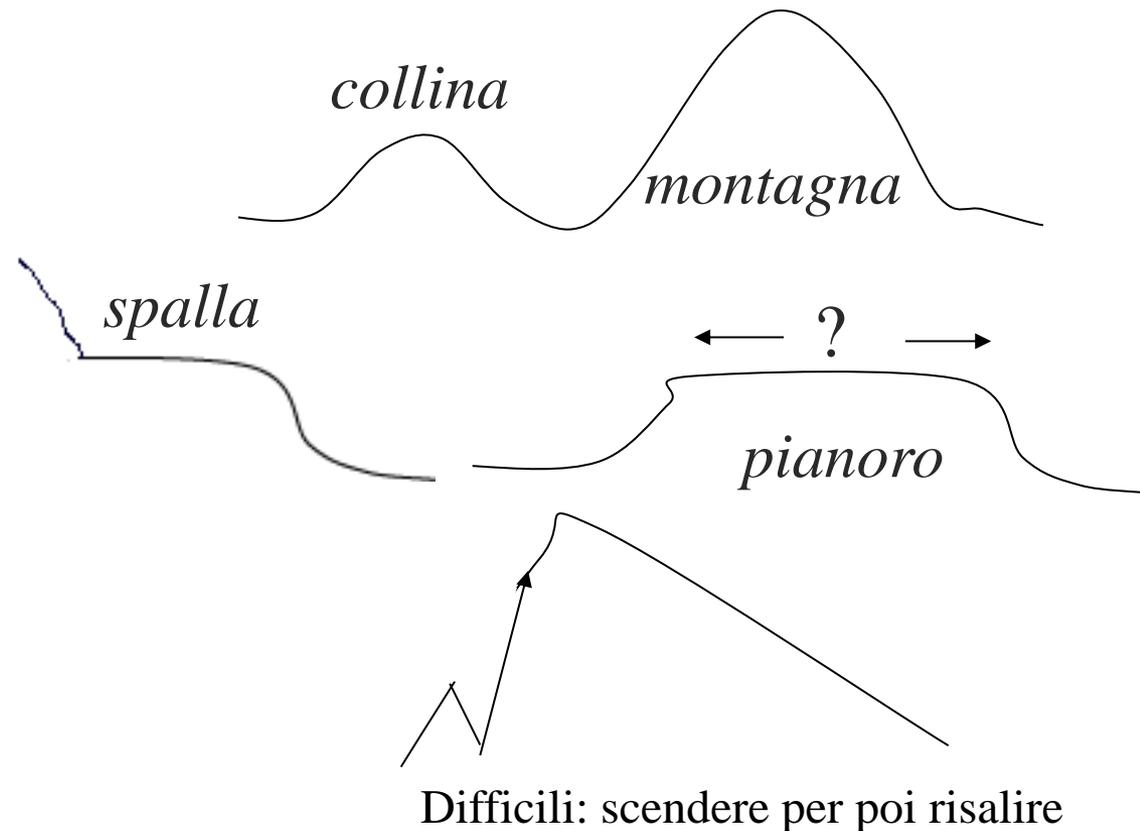


$h = 0$

Problemi con Hill-climbing

Se la f . è da ottimizzare i picchi sono massimi locali o soluzioni ottimali

- Massimi locali
- Pianori o spalle
Plateau
- Crinali (o creste)



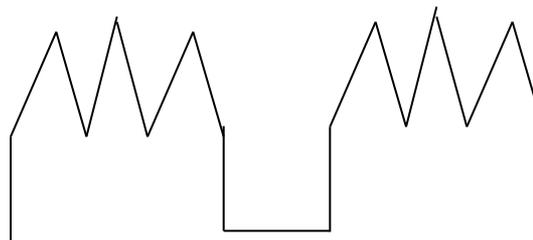
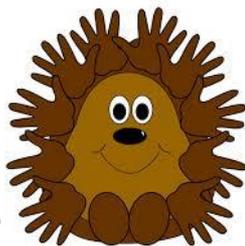
Miglioramenti

1. Consentire un numero limitato di mosse *lateral*i
(ossia ci si ferma per $<$ nell'alg. invece che per \leq)
 - L'algoritmo sulle 8 regine ha successo nel 94%, ma impiega in media 21 passi
2. Hill-climbing stocastico: si sceglie a caso tra le mosse in salita (magari tenendo conto della pendenza)
 - converge più lentamente ma a volte trova soluzioni migliori
3. Hill-climbing con prima scelta
 - può generare le mosse a caso fino a trovarne una migliore dello stato corrente
 - più efficace quando i successori sono molti (e.g. migliaia)

Miglioramenti (cont.)

4. Hill-Climbing con *riavvio casuale* (*random restart*): ripartire da un punto scelto a caso
- Se la probabilità di successo è p saranno necessarie in media $1/p$ ripartenze per trovare la soluzione (es. 8 regine, $p=0.14$, 7 iterazioni): 6 fail, un successo
 - Hill-climbing con random-restart è tendenzialmente completo (basta insistere)
 - Per le regine: 3 milioni in meno di un minuto!
 - Se funziona o no dipende molto dalla forma del panorama degli stati

Il porcospino



Tempra simulata

- L' algoritmo di tempra simulata (*Simulated annealing*) [Kirkpatrick, Gelatt, Vecchi 1983] combina hill-climbing con una scelta stocastica (ma non del tutto casuale, perché poco efficiente...)
- Analogia con il processo di tempra dei metalli in metallurgia
 - I metalli vengono portati a temperature molto elevate e raffreddati gradualmente consentendo di cristallizzare in uno stato a (più) bassa energia.

Tempra simulata

- Ad ogni passo si sceglie un successore a caso:
 - se migliora lo stato corrente viene espanso
 - se no (caso in cui $\Delta E = f(n') - f(n) < 0$) quel nodo viene scelto con probabilità $p = e^{\Delta E/T}$ [$0 \leq p \leq 1$]
[Si genera un numero casuale tra 0 e 1: se questo è $< p$ il successore viene scelto, altrimenti no]
 - p è inversamente proporzionale al peggioramento
 - T (temperatura) decresce col progredire dell'algoritmo (quindi anche p) secondo un piano definito

Tempra simulata: analisi

- La probabilità di una mossa in discesa diminuisce col tempo e l'algoritmo si comporta sempre di più come Hill Climbing.
- Se T viene decrementato abbastanza lentamente con prob. tendente ad 1 si raggiunge la soluzione ottimale.
- Analogia col processo di tempra dei metalli
 - T corrisponde alla temperatura
 - ΔE alla variazione di energia

Tempra simulata: parametri

- Valore iniziale e decremento di T sono parametri.
- Valori per T determinati sperimentalmente: il valore iniziale di T è tale che per valori medi di ΔE , $p = e^{\Delta E/T}$ sia all'incirca 0.5

Ricerca *local beam*

- La versione locale della *beam search*
- Si tengono in memoria k stati, anziché uno solo
- Ad ogni passo si generano i successori di tutti i k stati
 - Se si trova un goal ci si ferma
 - Altrimenti si prosegue con i k migliori tra questi
 - Note:
 - diverso da K restart (che riparte da zero)
 - diverso da *beam search*: perché?

Beam search stocastica

- Si introduce un elemento di casualità ... come in un processo di **selezione naturale** (diversificare la nuova generazione)
- Nella variante stocastica della *local beam*, si scelgono k successori, ma con probabilità maggiore per i migliori
- La terminologia:
 - *organismo* [stato]
 - *progenie* [successori]
 - *fitness* [il valore della f], idoneità

Algoritmi genetici: l'idea

- Sono varianti della beam search stocastica in cui gli stati successivi sono ottenuti combinando due stati genitore (anziché per evoluzione)
- La terminologia:
 - popolazione di individui [stati]
 - fitness
 - accoppiamenti + mutazione genetica
 - generazioni [generazioni]

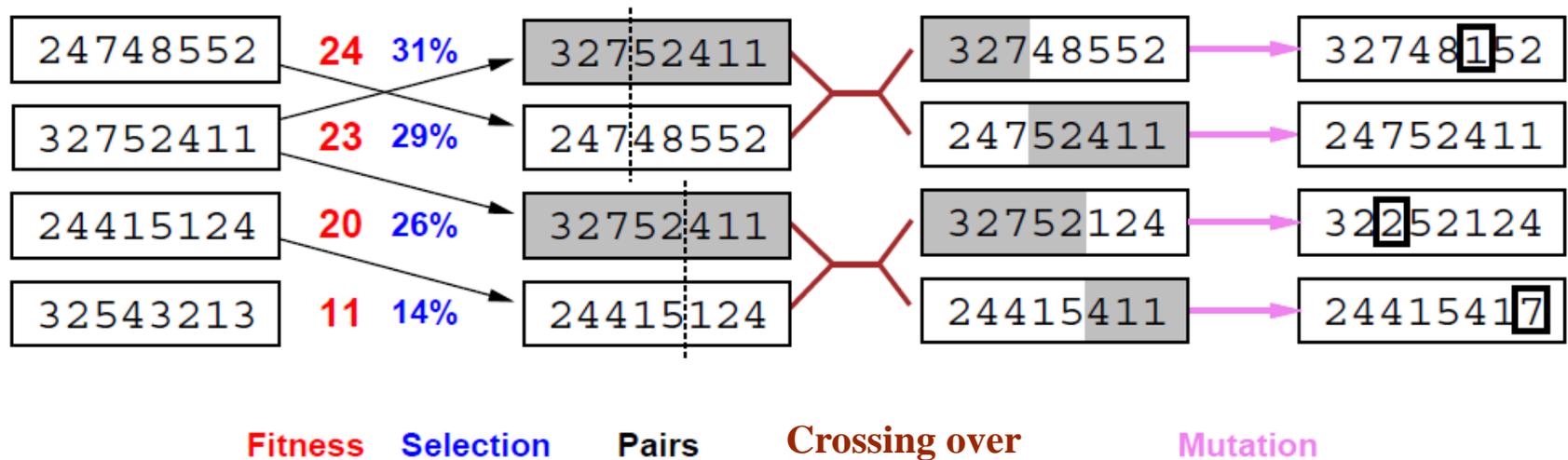
Algoritmi genetici: funzionamento

- **Popolazione iniziale:**
 - k stati/**individui** generati casualmente
 - ogni individuo è rappresentato come una stringa
Esempio: 24 bit* o posizione nelle colonne (“24748552”)
stato delle 8 regine
- Gli individui sono valutati da una **funzione di fitness**
 - Esempio: n. di coppie di regine che non si attaccano

Algoritmi genetici (cont.)

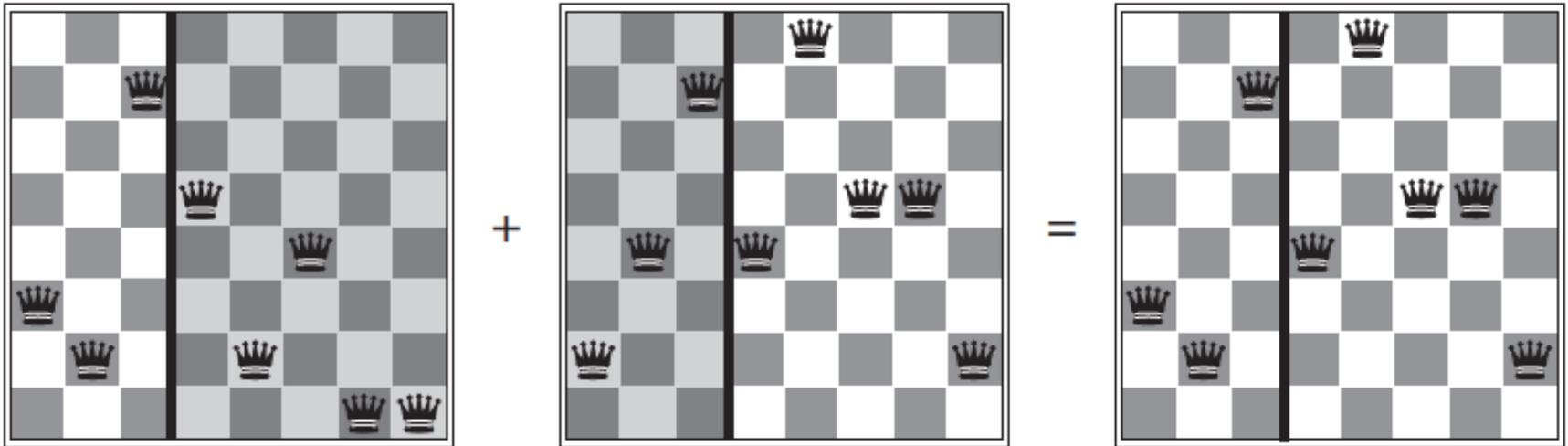
- Si **selezionano** gli individui per gli “**accoppiamenti**” con una probabilità proporzionale alla fitness
- Le coppie danno vita alla **generazione** successiva
 - Combinando materiale genetico (*crossover*)
 - Con un meccanismo aggiuntivo di mutazione genetica (casuale)
- La popolazione ottenuta dovrebbe essere migliore
- La cosa si ripete fino ad ottenere stati abbastanza buoni (stati obiettivo)

Esempio



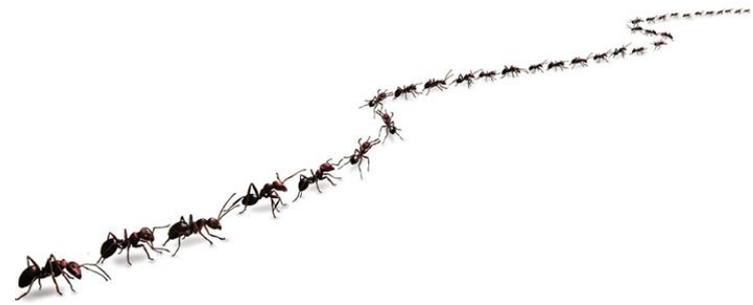
- Per ogni coppia viene scelto un punto di *crossing over* e vengono generati due figli scambiandosi pezzi (del DNA)
- Viene infine effettuata una *mutazione* casuale che dà luogo alla prossima generazione.

Nascita di un figlio



- Le parti chiare sono passate al figlio
- Le parti grigie si perdono
- Se i genitori sono molto diversi anche i nuovi stati sono diversi
- All'inizio spostamenti maggiori che poi si raffinano

Algoritmi genetici



- Suggestivi (area del *Natural computing*: e.g. *swarm*, ...)
- Usati in molti problemi reali e.g. configurazione di circuiti e scheduling di lavori
- Combinano
 - Tendenza a salire della beams erach stocastica
 - Interscambio info tra thread paralleli di ricerca (blocchi utili che si combinano)
- Funziona meglio se il problema (soluzioni) ha componenti significative rappresentate in sottostringhe
- Punto critico: la rappresentazione del problema in stringhe

Spazi continui

- Molti casi reali hanno spazi di ricerca continua e.g. fondamentale per Machine Learning !!!
- Stato descritto da variabili continue, x_1, \dots, x_n , vettore \mathbf{x} .
- Ad esempio posizione in spazio 3D $\mathbf{x}=(x_1, x_2, x_3)$.

- Apparentemente ostico, fattori di ramificazione infiniti con gli approcci precedenti
- In realtà molti strumenti matematici per spazi continui, che portano ad approcci anche molto efficienti....

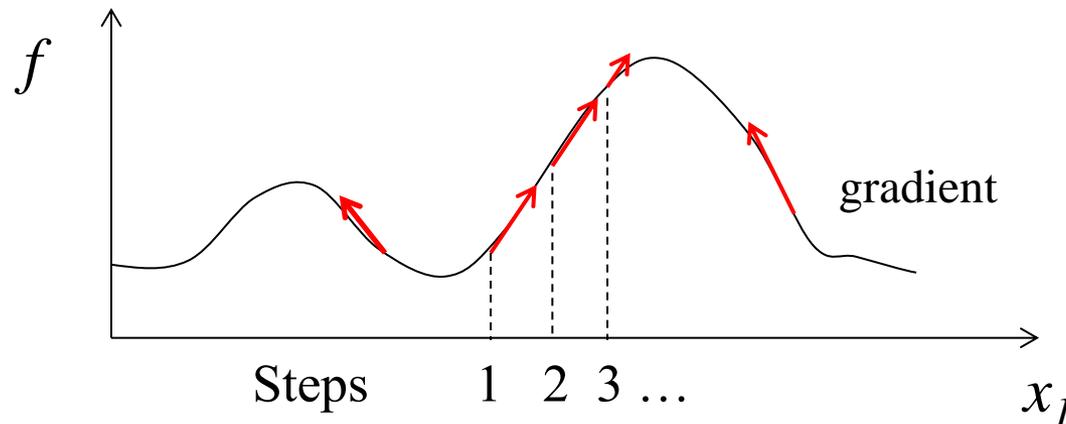
Spazi continui- gradient

- Se la f è continua e differenziabile, e.g. quadratica rispetto ad x
- Il minimo o massimo si può cercare utilizzando il gradiente, che restituisce la direzione di massima pendenza nel punto
- Data f obiettivo

$$\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \frac{\partial f}{\partial x_3} \right)$$

- Hill climbing iterativo: $\mathbf{x}_{new} = \mathbf{x}_{old} + \eta \nabla f(\mathbf{x})$

Eta: step size



Nota generale:
non sempre è
necessario il
min/max
assoluto:
vedremo nel ML

Oltre la ricerca classica

Part 2

Assunzioni sull'ambiente da
riconsiderare

- Azioni non deterministiche e ambiente parzialmente osservabile
 - Piani condizionali, ricerca AND-OR, stati credenza
- Ambienti sconosciuti e problemi di esplorazione (percezioni forniscono nuove informazioni dopo l'azione)
 - Ricerca *online*

Ambienti più realistici

- Gli agenti *risolutori di problemi* “classici” assumono:
 - Ambienti completamente osservabili
 - Azioni/ambienti deterministici
 - Il piano generato è una sequenza di azioni che può essere generato *offline* e eseguito senza imprevisti
 - Le percezioni non servono se non nello stato iniziale

Soluzioni più complesse

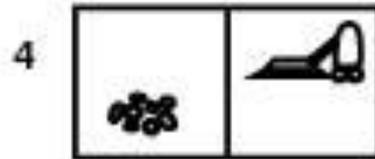
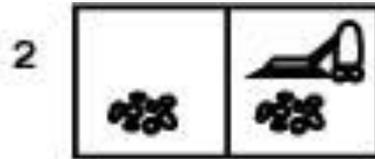
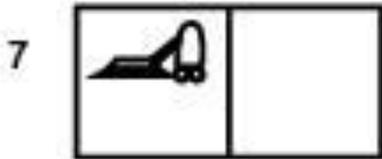
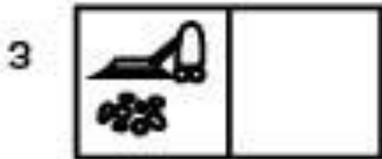
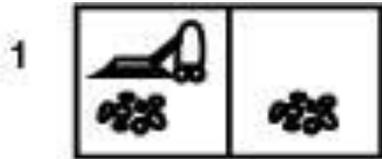
- In un ambiente parzialmente osservabile e non deterministico le **percezioni** sono importanti
 - restringono gli stati possibili
 - informano sull'effetto dell'azione
- Più che un *piano* l'agente può elaborare una “*strategia*”, che tiene conto delle diverse eventualità: un **piano con contigenza**
- Esempio: l'aspirapolvere con assunzioni diverse
 - Vediamo prima il non determinismo.

Azioni non deterministiche

L'aspirapolvere imprevedibile

- Comportamento:
 - *Se aspira in una stanza sporca, la pulisce ... ma talvolta pulisce anche una stanza adiacente*
 - *Se aspira in una stanza pulita, a volte rilascia sporco*
- Variazioni necessarie al modello
 - Il modello di transizione restituisce un **insieme di stati**: l'agente non sa in quale si troverà
 - Il piano **di contingenza** sarà un piano condizionale e magari con cicli

Esempio



- Esempio

Risultati(Aspira, 1) = {5, 7}

- Piano possibile

[Aspira,

if stato=5

then [Destra, Aspira]

else []

]

- Da sequenza di azioni a piano (albero)

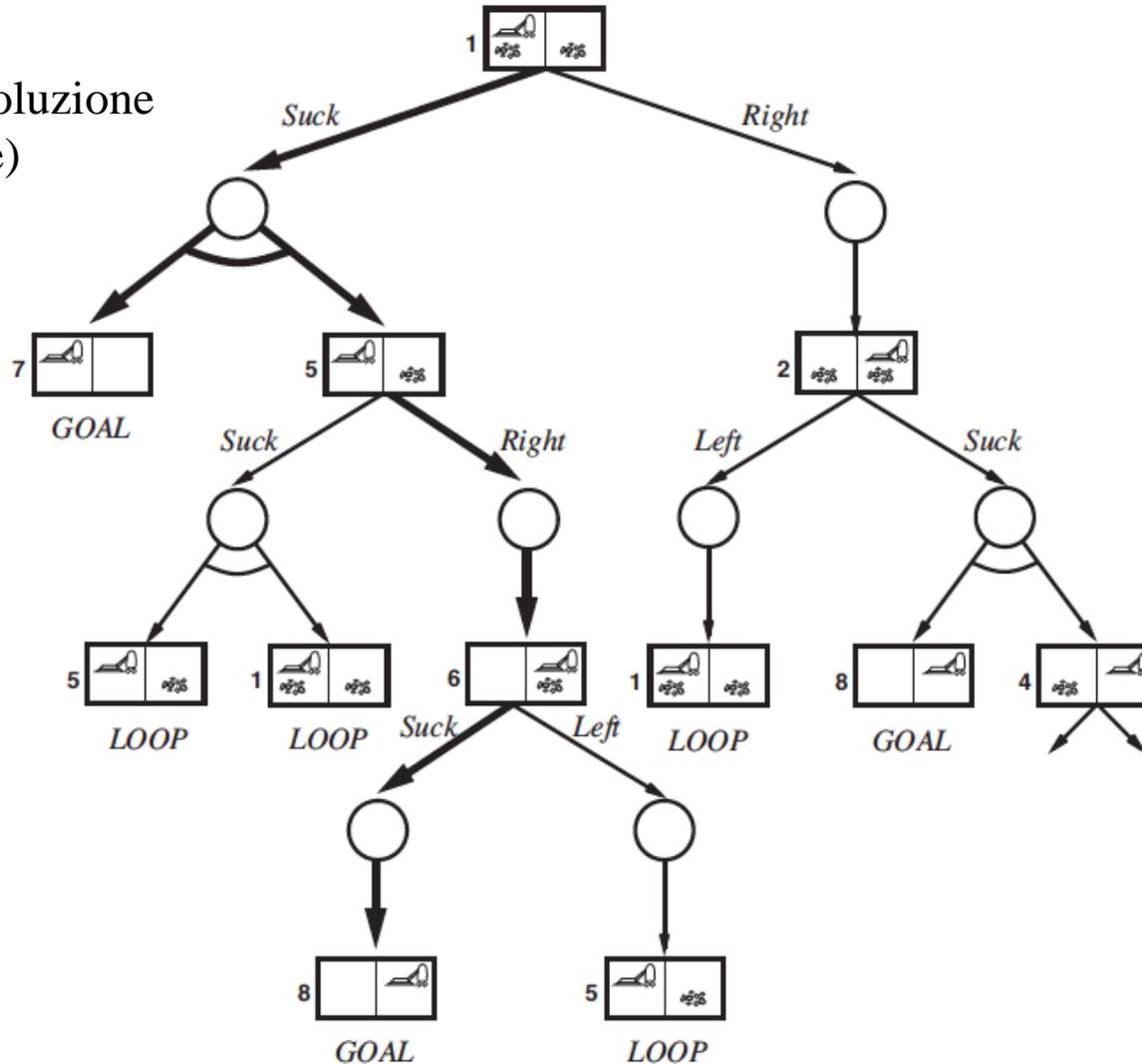
Come si pianifica:

alberi di ricerca AND-OR

- Nodi OR le scelte dell'agente [1 sola azione]
- Nodi AND le diverse contingenze (le scelte dell'ambiente), da considerare tutte
- Una soluzione a un problema di ricerca AND-OR è un **albero** che:
 - ha un nodo obiettivo in ogni foglia
 - specifica un'unica azione nei nodi OR
 - include tutti gli archi uscenti da nodi AND

Esempio di ricerca AND-OR

Bold= soluzione
(sub tree)



Algoritmo ricerca grafi AND-OR

function Ricerca-Grafo-AND-OR (*problema*)

returns un piano condizionale oppure *fallimento*

Ricerca-OR(*problema.StatoIniziale*, *problema*, [])

function Ricerca-OR(*stato*, *problema*, *cammino*) // nodi OR

returns un piano condizionale oppure *fallimento*

If *problema.TestObiettivo*(*stato*) **then return** [] // piano vuoto

If *stato* è su *cammino* **then return** *fallimento* // spezza i cicli

for each *azione* **in** *problema.Azione*(*stato*) **do**

piano ← Ricerca-AND (*Risultati*(*stato*, *azione*), *problema*, [*stato*|*cammino*])

If *piano* ≠ *fallimento* **then return** [*azione* | *piano*]

return *fallimento*

Algoritmo ricerca grafi AND-OR

function Ricerca-AND(*stati*, *problema*, *cammino*) // nodi AND

returns un piano condizionale oppure *fallimento*

for each s_i **in** *stati* **do**

$piano_i \leftarrow$ Ricerca-OR(s_i , *problema*, *cammino*)

If $piano_i = fallimento$ **then return** *fallimento*

return

[**if** s_1 **then** $piano_1$ **else**

if s_2 **then** $piano_2$ **else**

...

if s_{n-1} **then** $piano_{n-1}$ **else** $piano_n$]

Ritorna un piano condizionale
Con azioni dei nodi OR

Ancora azioni non deterministiche

L'aspirapolvere slittante

- Comportamento:
 - *Quando si sposta può scivolare e rimanere nella stessa stanza*
 - Es. Risultati(Destra, 1) = {1, 2}
- Variazioni necessarie
 - Continuare a provare ... [finche' riesce ad andare a destra]
 - Il **piano di contingenza** potrà avere dei cicli

Osservazione

- Bisogna distinguere tra:
 1. Osservabile e non deterministico (es. aspirapolvere slittante)
 2. Non (o parzialmente) osservabile e deterministico (es. non so se la chiave aprirà la porta)
- In questo secondo caso, se la chiave è sbagliata, si può provare all' infinito ma niente cambierà!

Ricerca con osservazioni parziali

- Le percezioni non sono sufficienti a determinare lo stato esatto, anche se l'ambiente è deterministico.
- **Stato credenza**: un insieme di *stati possibili* in base alle conoscenze dell'agente
- **Problemi senza sensori** (*sensorless* o **conformanti**)
- Si possono trovare soluzioni anche senza affidarsi ai sensori utilizzando stati-credenza

Ambiente non osservabile:

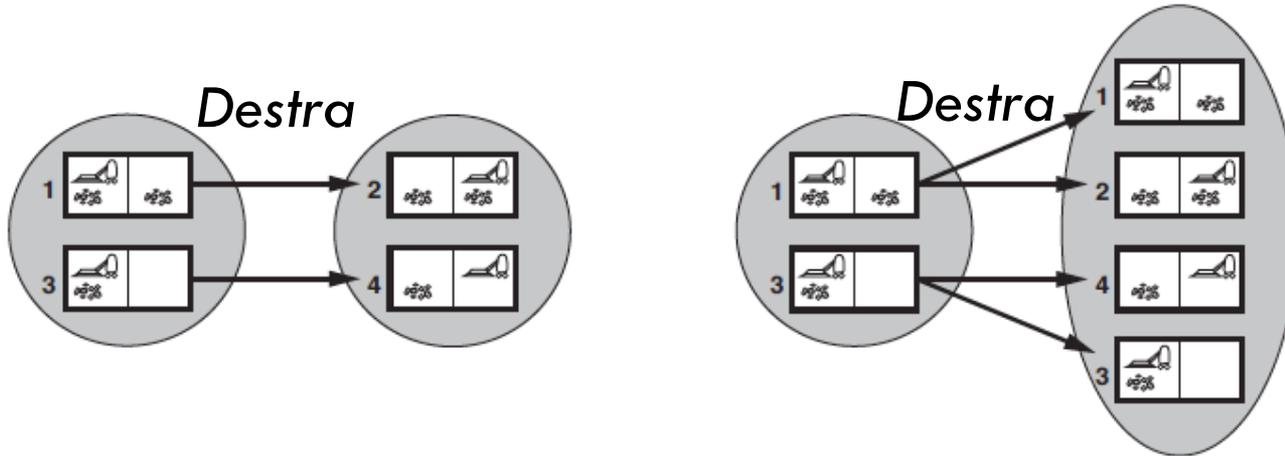
Aspirapolvere senza sensori

- L'aspirapolvere:
 - non percepisce la sua locazione, né se la stanza è sporca o pulita
 - conosce la geografia del suo mondo e l'effetto delle azioni
- Inizialmente tutti gli stati sono possibili
 - Stato iniziale = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}
- Le azioni riducono gli stati credenza
- Nota: nello spazio degli stati credenza l'ambiente è **osservabile** (l'agente conosce le sue credenze)

Formulazione di problemi con stati-credenza

- Se N numero stati , 2^N sono i possibili stati credenza
- **Stato-credenza iniziale** $SC_0 \subseteq$ insieme di tutti gli N stati
- **Azioni**(b) = unione delle azioni *lecite* negli stati in b (ma se azioni illecite in uno stato hanno effetti dannosi meglio intersezione)
- **Modello di transizione**: gli stati risultanti sono quelli ottenibili applicando le azioni a uno stato qualsiasi (l' unione degli stati ottenibili dai diversi stati possibili con le azioni eseguibili)

Problemi con stati-credenza (cnt.)

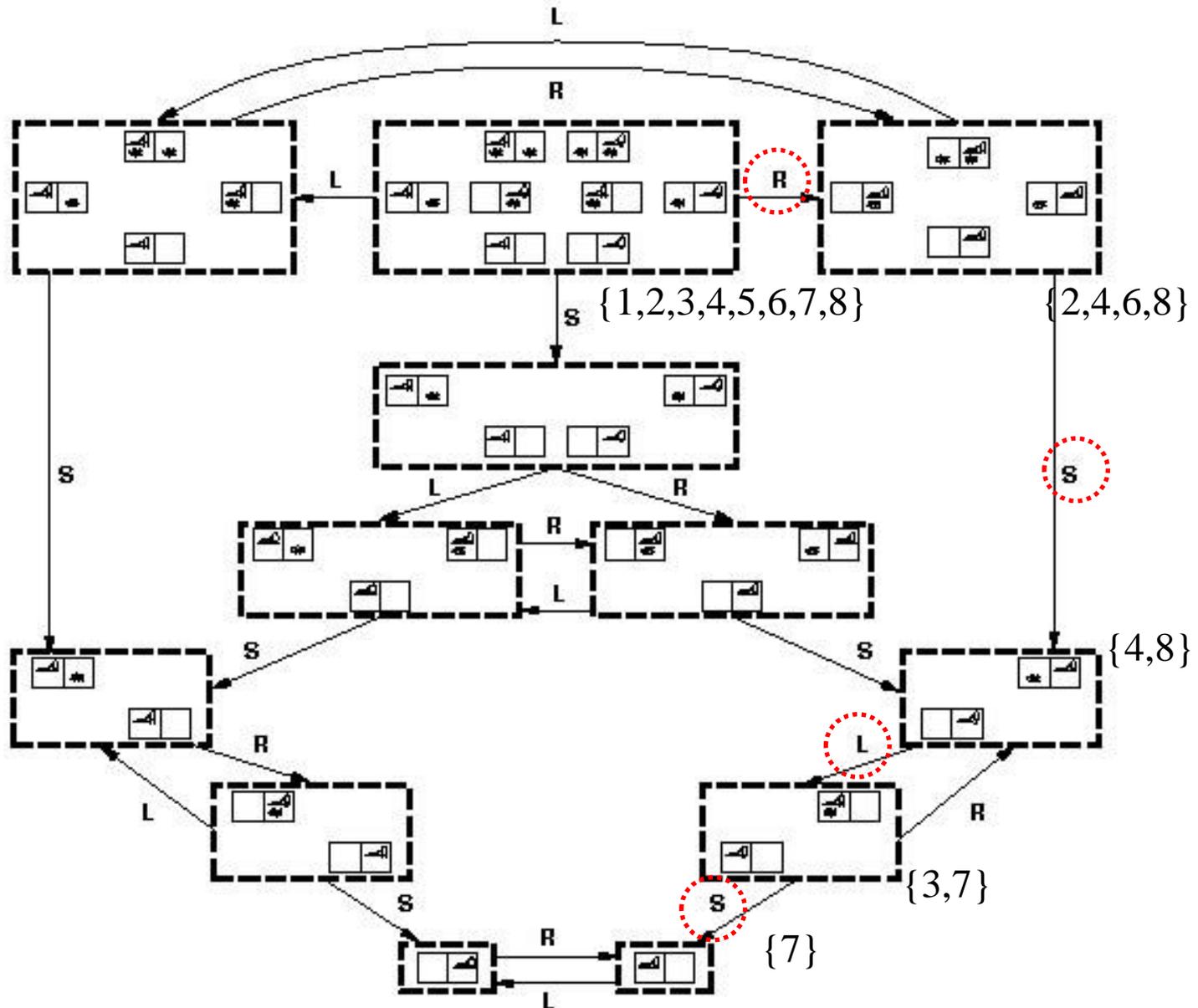


Senza sensori deterministico

Senza sensori e slittante (non det.)

- **Test obiettivo:** tutti gli stati nello stato credenza devono soddisfarlo
- **Costo di cammino:** il costo di eseguire un'azione potrebbe dipendere dallo stato, ma assumiamo di no

Il mondo dell'aspirapolvere senza sensori (determ.)



Ricerca: ottimizzazioni

- Si può effettuare un Ricerca-Grafo e controllare, generando s , se si è già incontrato uno stato credenza $s'=s$ e trascurare s
- Si può anche “potare” in modo più efficace in base al fatto che:
 - Se $s' \subseteq s$, allora ogni sequenza di azioni che è una soluzione per s lo è anche per s'
 - Se $s' \subseteq s$ (s' già incontrato) si può trascurare s
 - Se $s \subseteq s'$ e da s' si è trovata una soluzione si può trascurare s

Soluzione incrementale

- Dovendo trovare una soluzione per $\{1, 2, 3 \dots\}$ si cerca una soluzione per stato 1 e poi si controlla che funzioni per 2 e i successivi; se no se ne cerca un'altra per 1 ...
- Scopre presto i fallimenti ma cerca un'unica soluzione che va bene per tutti gli stati
- Non è una strategia completa ma è sicuramente più efficiente

Ricerca della soluzione

- Gli stati credenza possibili sono $2^8=256$ ma solo 12 sono raggiungibili
- In generale lo spazio di ogni stato può essere molto più grande con gli “stati credenza”
- La rappresentazione atomica obbliga a elencare tutti gli stati. Non è molto “compatta”. Non così con una rappresentazione più strutturata (lo vedremo)

Ricerca con osservazioni

- Ambiente parzialmente osservabile
- Esempio: *l'aspirapolvere con sensori **locali** che percepisce la sua posizione e lo sporco nella stanza in cui si trova (ma non nelle altre stanze)*
- Le percezioni diventano importanti
 - Assumiamo Percezioni(s)

Ricerca con osservazioni parziali

- Le percezioni assumono un ruolo
 - $\text{Percezioni}(s) = \text{null}$ in problemi *sensorless*
 - $\text{Percezioni}(s) = s$, ambienti osservabili
 - $\text{Percezioni}(s) = \text{percezioni [possibili]}$ nello stato s
- Le percezioni restringono l'insieme di stati possibili
 - Esempio: [A, Sporco] percezione stato iniziale
Stato iniziale = $\{1, 3\}$

Il modello di transizione si complica

La transizione avviene in tre fasi:

1. Predizione dello stato credenza per effetto delle azioni:

$Predizione(b, a) = b'$

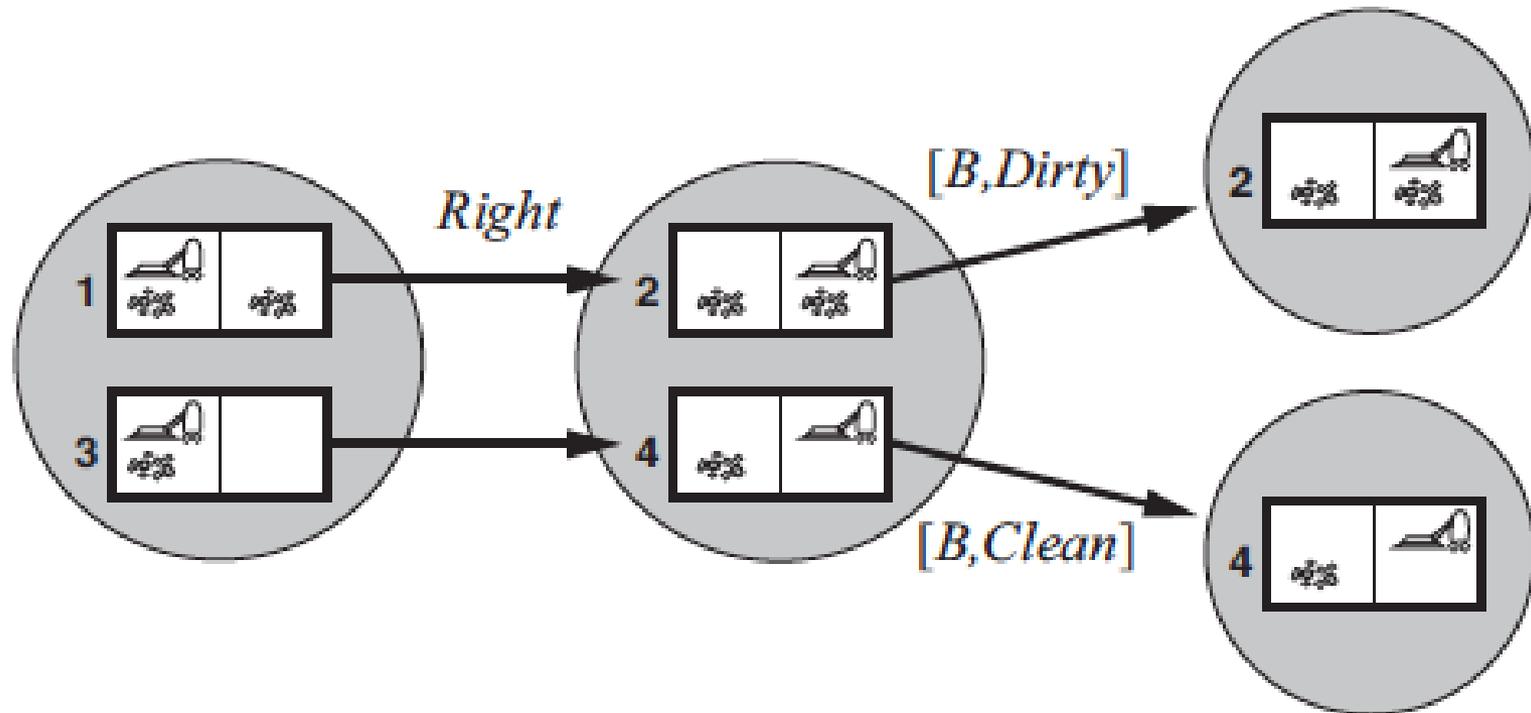
2. Predizione dell'osservazione: *Percezioni-possibili*(b')

3. Calcolo *aggiornamento* (insieme di stati credenza compatibili con lo stato credenza predetto e le possibili osservazioni):

$b'' = Aggiorna(Predizione(b, a), o)$

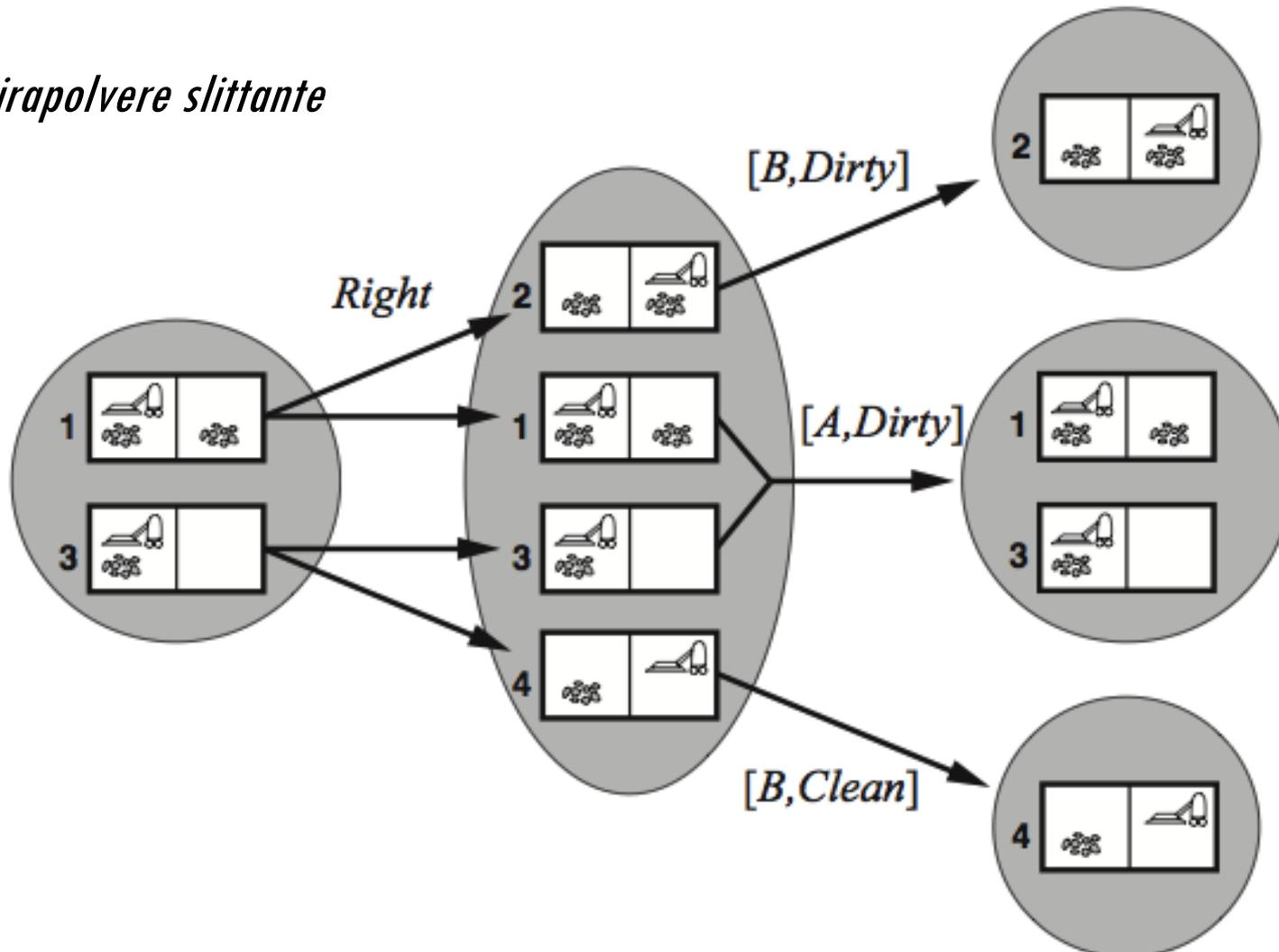
per ogni possibile osservazione o

Transizione con azioni deterministiche



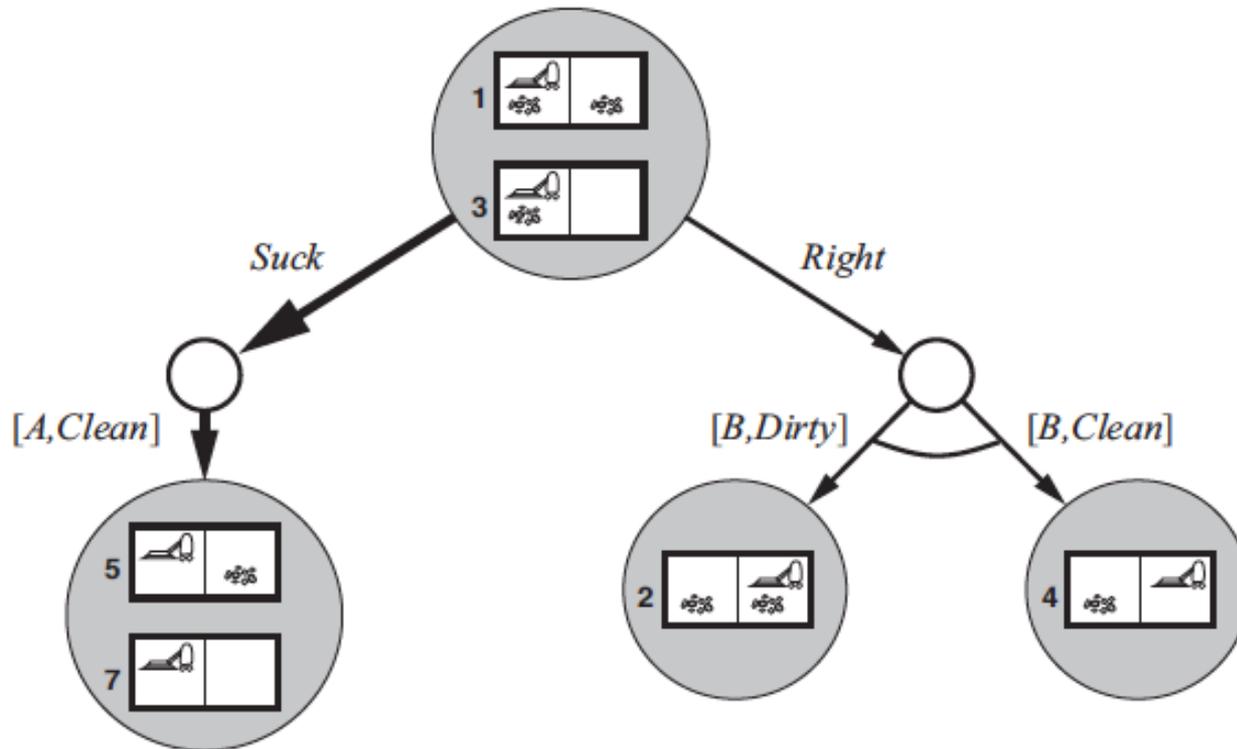
Transizione con azioni non deterministiche

Aspirapolvere slittante



Aspirapolvere con sensori locali

Per pianificare ci servono grafi AND-OR su stati credenza



[Aspira, Destra, if statoCredenza = {6} then Aspira else []]

Ricerca *online*

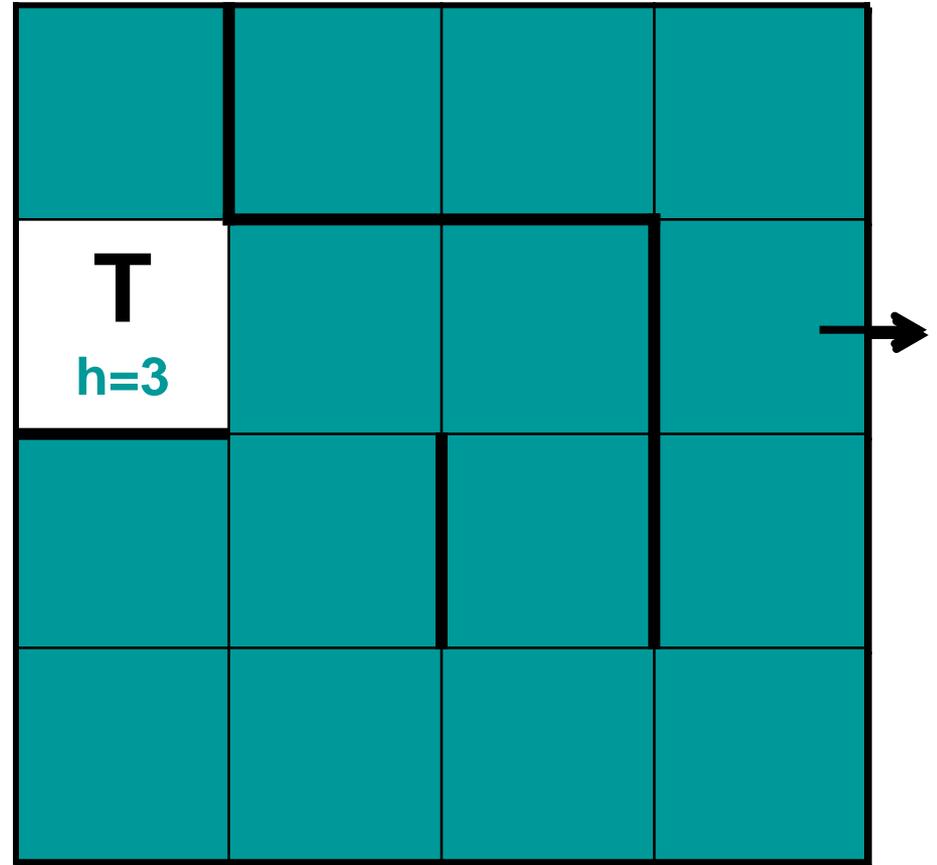
- Ricerca *offline* e ricerca *online*
- L'agente alterna pianificazione e azione
- 1. Utile in ambienti dinamici o semidinamici
 - Non c'è troppo tempo per pianificare
- 2. Utile in ambienti non deterministici
 - 1. Pianificare vs agire
- 3. Necessaria per **ambienti ignoti** tipici dei problemi di **esplorazione**

Problemi di esplorazione

- I problemi di esplorazione sono casi estremi di problemi con contingenza in cui l'agente deve anche pianificare azioni esplorative
- Assunzioni per un problema di esplorazione:
 - Solo lo stato corrente è osservabile, l'ambiente è ignoto
 - Non si conosce l'effetto delle azioni e il loro costo
 - Gli stati futuri e le azioni che saranno possibili non sono conosciute a priori
 - Si devono compiere azioni esplorative come parte della risoluzione del problema
- Il labirinto come esempio tipico

Esempio: Teseo con mappa e senza

- Con mappa
 - applicabili tutti gli algoritmi di pianificazione visti
- Senza mappa
 - l'agente non può pianificare può solo esplorare nel modo più razionale possibile
 - Ricerca online



Assunzioni

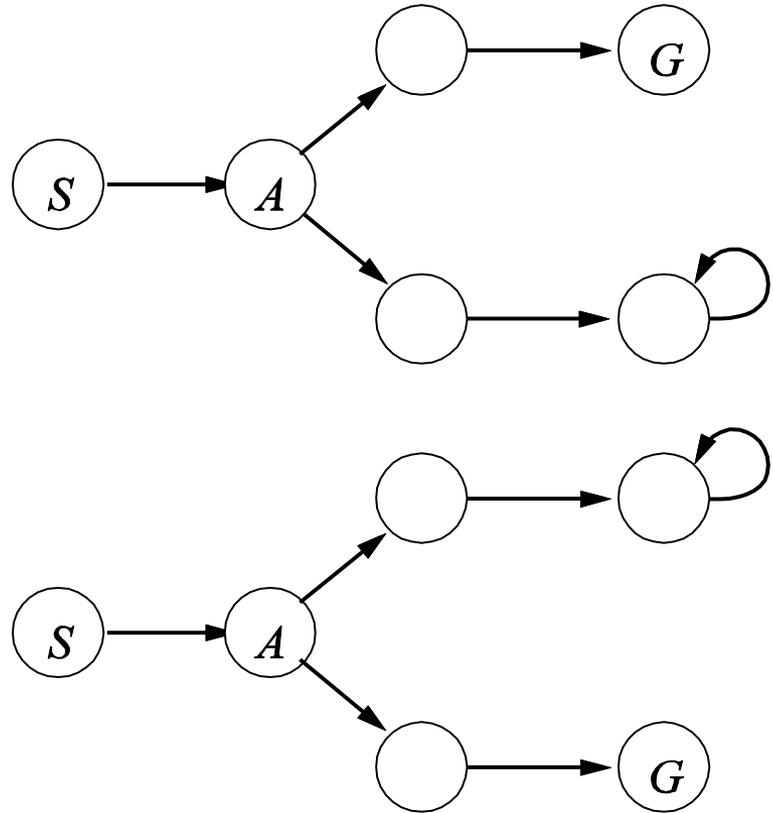
- Cosa conosce un agente *online* in s ...
 - Le azioni legali nello stato attuale s : Azioni (s)
 - Risultato(s, a), ma dopo aver eseguito a
 - Il costo della mossa $c(s, a, s')$, solo dopo aver eseguito a
 - Goal-test(s)
 - Può esserci: la stima della distanza: dal goal: $h(s)$

Costo soluzione

- Il costo del cammino è quello effettivamente percorso
- Il rapporto tra questo costo e quello ideale (conoscendo l'ambiente) è chiamato **rapporto di competitività**
- Tale rapporto può essere infinito
- Le prestazioni sono in funzione dello spazio degli stati

Assunzione ulteriore

- Ambienti **esplorabili in maniera sicura**
 - non esistono azioni irreversibili
 - lo stato obiettivo può sempre essere raggiunto
 - diversamente non si può garantire una soluzione



Ricerca in profondità *online*

- Gli agenti *online* ad ogni passo decidono l'azione da fare (non il piano) e la eseguono.
- Procedono solo “localmente”, ma anche tornando indietro e.g.:
- Ricerca in profondità *online*
 - Esplorazione sistematica delle alternative
 - $nonProvate[s]$ mosse ancora da esplorare in s
 - È necessario ricordarsi ciò che si è scoperto
 - $Risultato[s, a] = s'$
 - Il backtracking significa tornare sui propri passi
 - $backtrack[s]$ stati a cui si può tornare

Esempio

- Sceglie il primo tra $(1,1)$ e $(2,2)$
- In $(1, 1)$ ha solo l'azione per tornare indietro (POP backtrack[s])
- ...
- Nella peggiore delle ipotesi esplora ogni casella due volte

	1	2	3	4
1				
2				T →
3				
4				

Algoritmo in profondità *online*

```
function Agente-Online-DFS(s) returns un'azione
  static: Risultato, nonProvate, backtrack,
           s- (stato precedente), a- (ultima azione)
  if Goal-Test(s) then return stop
  if s è un nuovo stato then nonProvate[s] ← Azioni(s)
  if s- non è null then risultato[s-, a-] ← s; backtrack[s] ← s-;
  if nonProvate[s] vuoto then
    if backtrack[s] vuoto then return stop
    else a ← azione per tornare in POP(backtrack[s])
  else a ← POP(nonProvate[s])
  s- ← s; return a
```

Ricerca euristica *online*

- Nella ricerca online si conosce il valore della funzione euristica una volta esplorato lo stato.
- Un algoritmo di tipo Best First non funzionerebbe.
- Serve un metodo locale
- *Hill-climbing* con *random-restart* non praticabile
- Come sfuggire a minimi locali?

Due soluzioni

1. Random-walk

- si fanno mosse casuali (privilegiando le nuove)
- in principio completa ma costosa!

2. Ricerca locale con A^* (LRTA*):

- Learning Real Time A^* , A^* con memoria (apprendimento) in tempo reale
- esplorando si aggiustano i valori dell'euristica per renderli più realistici
- In questo modo riesce a superare i minimi locali

Idea dell'algoritmo LRTA*

- $H(s)$: migliore stima trovata fin qui

- Si valutano i successori:

$$\text{Costo-LRTA}^*(s, a, s', H) =$$

$h(s)$ se s' indefinito (non esplorato)

$H(s') + \text{costo}(s, a, s')$ altrimenti

- Ci si sposta sul successore di Costo-LRTA* minore
- Si aggiorna la H dello stato da cui si proviene

LRTA*

function Agente-LRTA*(s) **returns** un'azione

static: risultato, H, s-, a-

if Goal-Test(s) **then return** stop

if s nuovo (non in H) **then** $H[s] \leftarrow h[s]$

1. **if** s- non è null //si aggiusta il costo H del predecessore

risultato[s-, a-] \leftarrow s

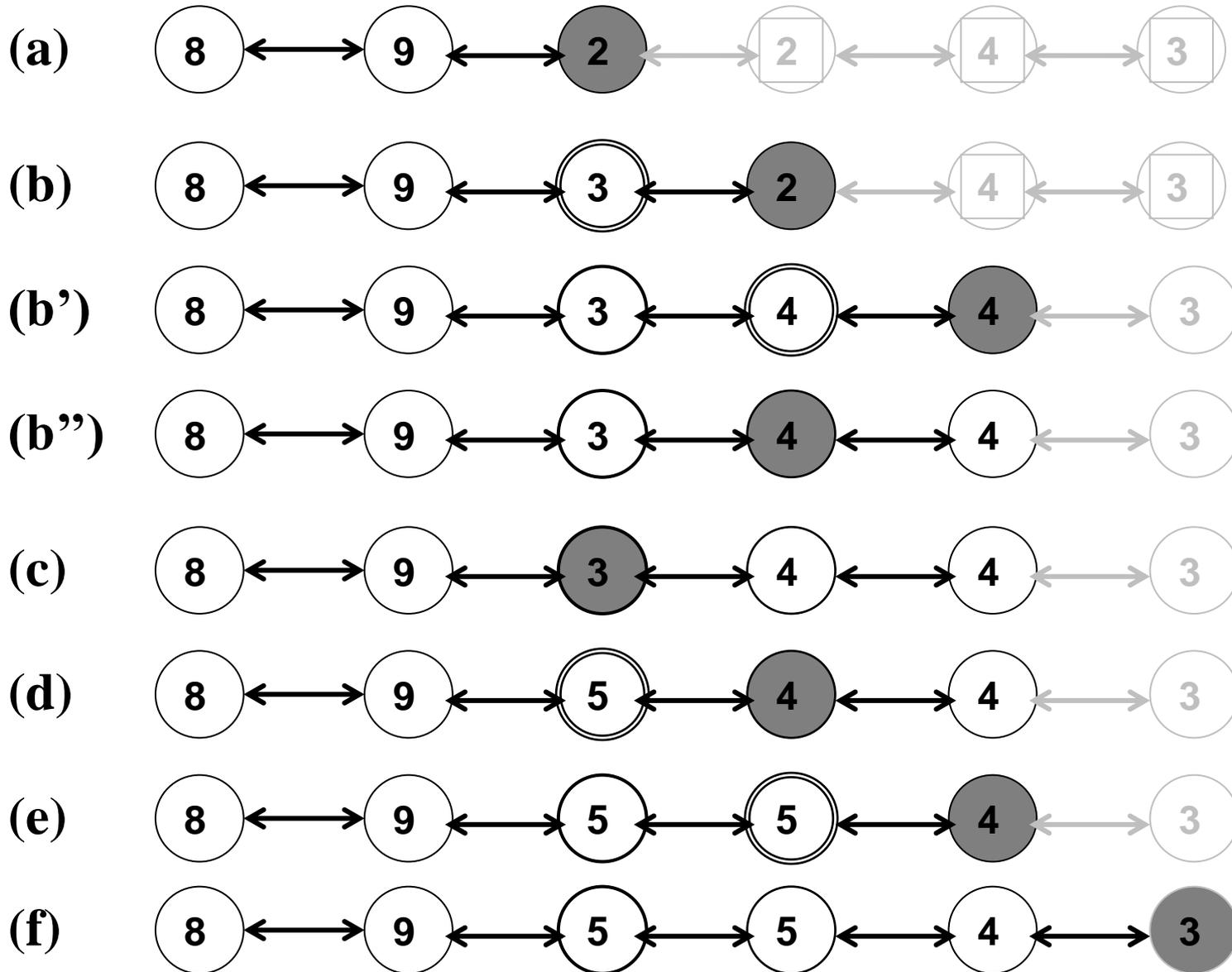
$H[s-] \leftarrow \min$ Costo-LRTA*(s-, b, risultato[s-, b], H)

2. a \leftarrow un'azione b tale che minimizza $b \in$ Azioni(s-)

Costo-LRTA*(s, b, risultato[s, b], H)

s- \leftarrow s; **return** a

LRTA* supera i minimi locali (rev)



Esempio di LRTA*

	1	2	3	4
1	(H=4)			
2	(H=3)	(H=2)	(H=3)	T (H=0) →
3		(H=3)	(H=4)	(H=1)
4			(H=3)	(H=2)

Considerazioni su LRTA*

- LRTA* cerca di simulare A^* con un metodo locale: tiene conto del costo delle mosse come può aggiornando al volo la H
- Completo in spazi esplorabili in maniera sicura
- Nel caso pessimo visita tutti gli stati due volte ma è mediamente più efficiente della profondità *online*
- Non ottimale, a meno di usare una euristica perfetta (non basta una $f=g+h$ con h ammissibile)
- Verso l'**apprendimento per rinforzo!**

Per informazioni

Alessio Micheli

micheli@di.unipi.it



**Dipartimento di Informatica
Università di Pisa - Italy**



**Computational Intelligence &
Machine Learning Group**