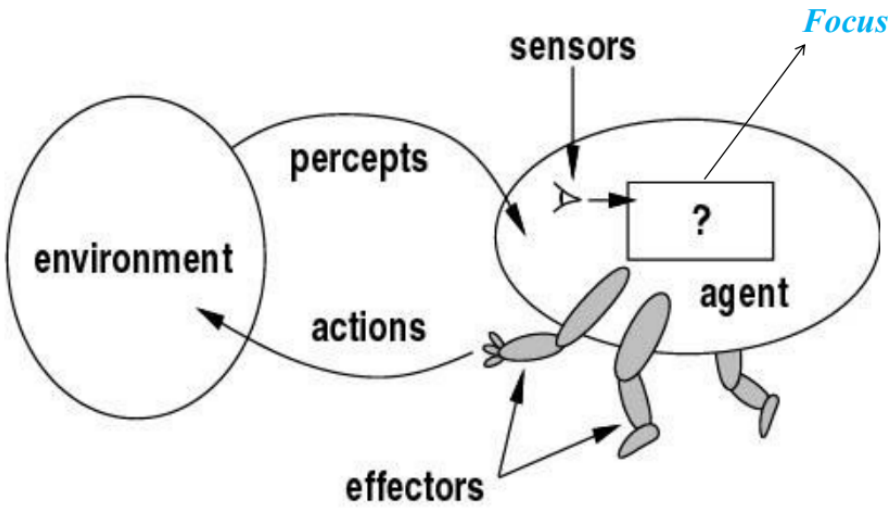
Introduzione all'Intelligenza Artificiale 2022

Ambra Manattini

February 2022

1 Agenti Intelligenti

Primo obiettivo: agenti per la risoluzione di problemi vista come ricerca in uno spazio di stati (**problem solving**)



Ciclo *percezione- azione*

L'agente esegue il ciclo percezione-azione. Il focus è il programma dell'agente

1.1 Caratteristiche degli agenti

- **Situati**: ricevono percezioni dall'ambiente e agiscono mediante *azioni*
- **Abilità sociale**: capaci di comunicare, collaborare, difendersi da altri agenti
- Hanno **credenze, obiettivi, intenzioni**
- **Embodied**: hanno un corpo fisico, fino a considerare i meccanismi delle emozioni

Figure 1: funzione agente: definisce l'azione da compiere per ogni sequenza percettiva

La scelta dell'agente è una funzione della **sequenza percettiva**, definisce l'azione da compiere in base a ogni sequenza percettiva, implementata da un programma agente

1.2 Agenti Razionali

Un agente razionale interagisce col suo ambiente in maniera efficace, perché serve un *criterio di valutazione* oggettivo dell'effetto delle azione dell'agente (es costo minimo di un cammino alla soluzione)

Valutazione della prestazione

Misura di prestazione

- Esterna (come vogliamo che il mondo evolva)
- Scelta dal progettista a seconda del problema
- Possibilmente valutata su ambienti diversi

La razionalità dipende da

- Misura di prestazione
- Conoscenza pregressa dell'ambiente
- Percezioni presenti e passate
- Capacità dell'agente

Un **agente razionale** per ogni sequenza di percezioni compie l'azione che massimizza il valore atteso della misura delle prestazioni, considerando le sue percezioni passate e la sua conoscenza pregressa.

Non è perfetto e non conosce il futuro, potrebbero essere necessarie azioni di acquisizione di informazioni o esplorative. Le capacità dell'agente sono limitate. Raramente tutta la conoscenza dell'ambiente può essere fornita a priori, l'agente razionale deve essere in grado di modificare il suo comportamento con l'esperienza (*si adatta*)

Agente autonomo

È autonomo nella misura in cui il suo comportamento dipende dalla sua capacità di ottenere esperienza

Prestazione	Ambiente	Attuatori	Sensori
Arrivare alla destinazione, sicuro, veloce, ligio alla legge, viaggio confortevole, minimo consumo di benzina, profitti massimi	Strada, altri veicoli, pedoni, clienti	Sterzo, acceleratore, freni, frecce, clacson, schermo di interfaccia o sintesi vocale	Telecamere, sensori a infrarossi e sonar, tachimetro, GPS, contachilometri, accelerometro, sensori sullo stato del motore, tastiera o microfono

Figure 2: es. agente guidatore di taxi

1.3 Ambienti

Definire un problema per un agente significa caratterizzare l'ambiente in cui l'agente opera (*ambiente operativo*

1.3.1 PEAS

Descrizione PEAS dei problemi

- **P**erformance — prestazione
- **E**nvironment — ambiente
- **A**ctuators — attuatori
- **S**ensors — sensori

1.4 Osservabilità

- Completamente osservabile: l'apparato percettivo è in grado di dare una consocenza completa dell'ambiente o almeno tutto quello che serve a decidere l'azione, non c'è bisogno di mantenere uno stato del mondo esterno
- Parzialmente osservabile: sono presenti limiti o inaccuratezza dell'apparato sensoriale

1.4.1 Ambiente singolo/multi agente

- Agente/non agente: il mondo può cambiare per eventi, non necessariamente per azioni di agenti
- Multi agente competitivo (scacchi)
- Multi agente cooperativo: comunicazione, stesso obiettivo

1.4.2 Predicibilità

- Deterministico: stato successivo completamente determinato dallo stato corrente dell'azione
- Stocastico: esistono elementi di incertezza con associata probabilità
- Non deterministico: si tiene traccia di più stati possibili risultato dell'azione

1.4.3 Episodico/sequenziale

- Episodico: l'esperienza dell'agente è divisa in episodi atomici indipendenti
- Sequenziale: ogni decisione influenza le successive

1.4.4 Statico/dinamico

- Statico: il mondo non cambia mentre l'agente decide l'azione
- Dinamico: cambia nel tempo, va osservata la contingenza
- Semi dinamico: l'ambiente non cambia, ma la valutazione dell'agente sì

1.4.5 Discreto/continuo

- Possono assumere valori discreti o continui:
  - Lo stato
  - Il tempo
  - Le percezioni
  - Le azioni
- Combinatoriale vs infinito

1.4.6 Noto/ignoto

Si riferisce allo stato di conoscenza dell'agente sulle leggi fisiche dell'ambiente; se l'agente conosce l'ambiente o deve compiere azioni esplorative.

Noto != Osservabile

1.5 Struttura di un agente

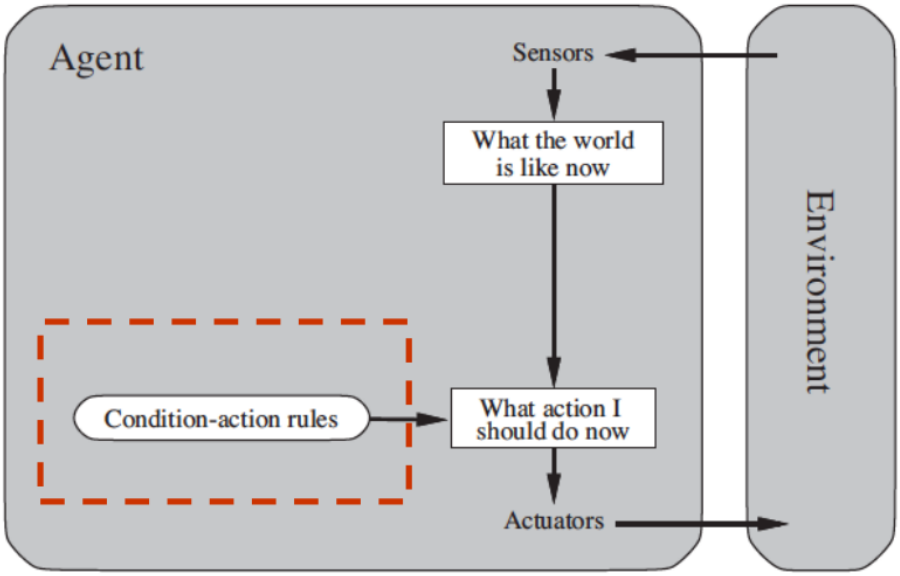
Un agente è formato da *architettura* e *programma*. Il programma dell'agente implementa la funzione $Ag : P \rightarrow Az$

1. Prende in input delle percezioni e ritorna delle azioni
2. Aggiorna la memoria in base alle percezioni
3. Sceglie la migliore azione possibile in base alla memoria
4. Aggiorna la memoria a seconda dell'azione che abbiamo fatto

1.5.1 Agente basato su tabella

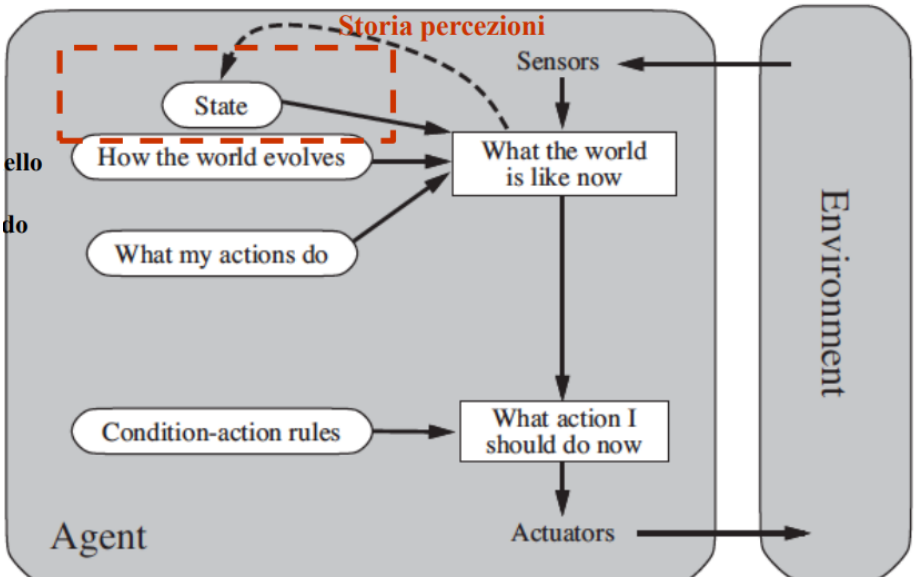
La scelta dell'azione è un accesso a una *"tabella"* che associa un'azione a ogni possibile sequenza di percezioni. L'implementazione tramite actual tabella è ingestibile per vari motivi

1.6 Agenti reattivi semplici



Non c'è storia in memoria, non tiene conto delle cose precedenti.
function $Agente - Reattivo - Semplice(percezione)$
returns $azione$
persistent : $regole$, $un\ insieme\ di\ regole\ condizione\text{-}azione\ \ (if\text{-}then)$
$stato \leftarrow Interpreta - Input(percezione)$
$regola \leftarrow Regola - Corrispondente(stato,\ regole)$
$azione \leftarrow regola.Azione$
return $azione$

1.7 Agenti basati su modello



Si introduce uno stato storia delle percezioni, abbiamo di nuoco lo stato e il modello del mondo

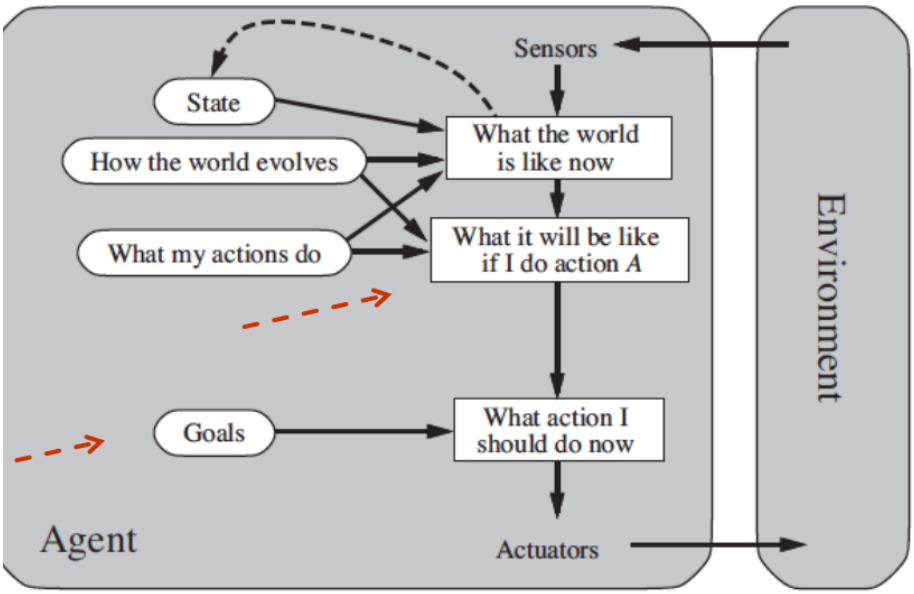
function $Agente - Basato - su - Modello\,(percezione)$
return $azione$
persistent: $stato$, $una\,descrizione\,dello\,stato\,corrente$
$modello$, $conoscenza\,del\,mondo$
$regole$, $un\,insieme\,di\,regole\,condizione - azione$
$azione$, $l'azione\,piu'\,recente$
$stato \leftarrow Aggiorna - Stato(stato, azione, percez., modello)$
$regola \leftarrow Regola - Corrispondente(stato, regole)$
$azione \leftarrow regola.Azione$
return $azione$

Lo stato si aggiorna in base alla sequenza di azioni fatte e il modello del mondo.

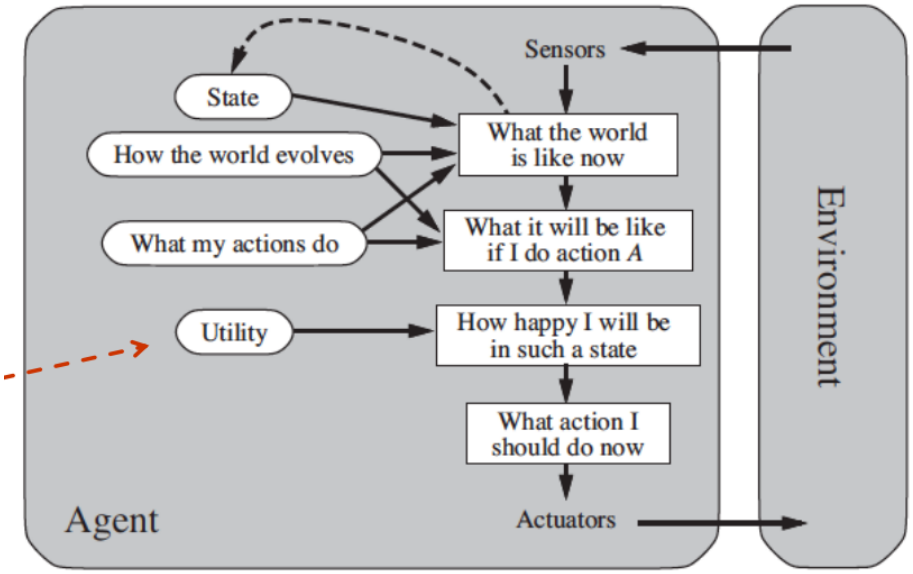
1.8 Agente con obiettivo

Guidati da un obiettivo nella celta dell'azione, l'azione migliore dipende dall'obiettivo che devo raggiungere, devo pianificare una sequenza di azioni per raggiungere questo obiettivo.

Meno efficienti ma più flessibili (può cambiare l'obiettivo)



1.9 Agenti con valutazione di utilità



Obiettivi alternativi (o più modi per raggiungerlo) l'agente decide verso quali di questi muoversi, necessita di una funzione di *utilità* che associa ad uno stato obiettivo un numero reale. La funzione di utilità tiene conto anche della probabilità di successo: *utilità attesa*.

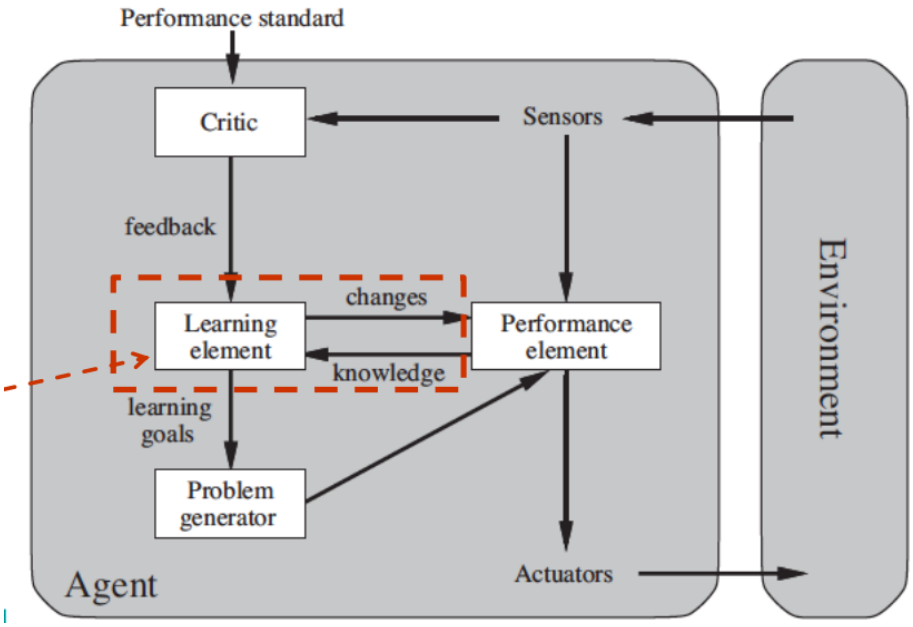
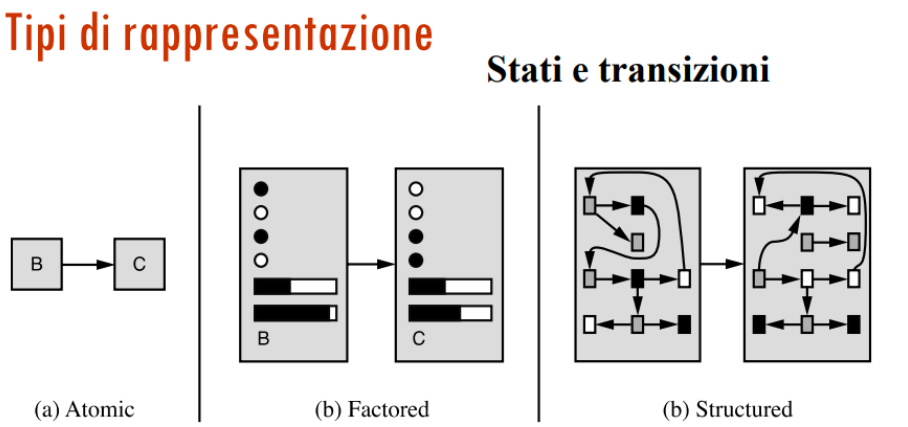


Figure 3: Agenti che apprendono

1.10 Agenti che apprendono

- Componente di apprendimento: produce cambiamenti al programma agente, apprendendo dall'ambiente
- Elemento esecutivo
- Elemento critico
- Generatore di problemi

1.10.1 Tipi di rappresentazione



- Rappresentazione atomica (stati)
- Rappresentazione fattorizzata (piu variabili e attributi)
- Rappresentazione strutturata (aggiunge relazioni)

2 Agenti risolutori di problemi

Adottano il paradigma della risoluzione di problemi come ricerca in uno spazio di stati (problem solving). Agenti con modello che adottano una rappresentazione atomica dello stato. Sono particolari agenti con obiettivo che pianificano l'intera sequenza di mosse prima di agire

2.0.1 Processo di risoluzione

Passi da seguire:

1. Determinazione obiettivo (un insieme di stati in cui l'obiettivo è soddisfatto)
2. Formulazione del problema *Design (qui ancora umano)*
   - rappresentazione degli stati
   - rappresentazione delle azioni
3. Determinazione della soluzione mediante **ricerca** (un piano)
4. Esecuzione del piano *Qui soluzione algoritmica*

Assunzioni

- Ambiente statico
- Osservabile
- Discreto
- Deterministico

2.0.2 Formulazione del problema

Un problema può essere definito formalmente mediante cinque componenti:

1. Stato iniziale
2. Azioni possibili in s: Azioni(s)
3. Modello di transizione:
   Risultato: *stato x azione* $\rightarrow$ *stato*
   Risultato(s,a) = s', uno stato **successore**
   1, 2 e 3 definiscono implicitamente lo **spazio degli stati**
4. Test obiettivo:
   - Un insieme di stati obiettivo
   - Goal-Test: stato $\rightarrow$*true, false*
5. Costo del cammino:
   - somma dei costi delle azioni (costo dei passi)
   - costo di passo: $c(s, a, s')$
   - Il costo di un'azione/passo non è mai negativo

3 Algoritmi di ricerca

Gli algoritmi di ricerca prendono in input un problema e restituiscono un **cammino soluzione**

3.1 Problema itinerario

3.1.1 Formulazione

Stati: le città

1. Stato iniziale: città di partenza $In(Arad)$
2. Azioni: spostarsi su una città vicina collegata $Azioni(In(Arad)) = Go(Sibiu), Go(Zerind)...$
3. Modello di transizione $Risultato(In(Arad), Go(Sibiu)) = In(Sibiu)$
4. Test Obiettivo: $In(Bucarest)$

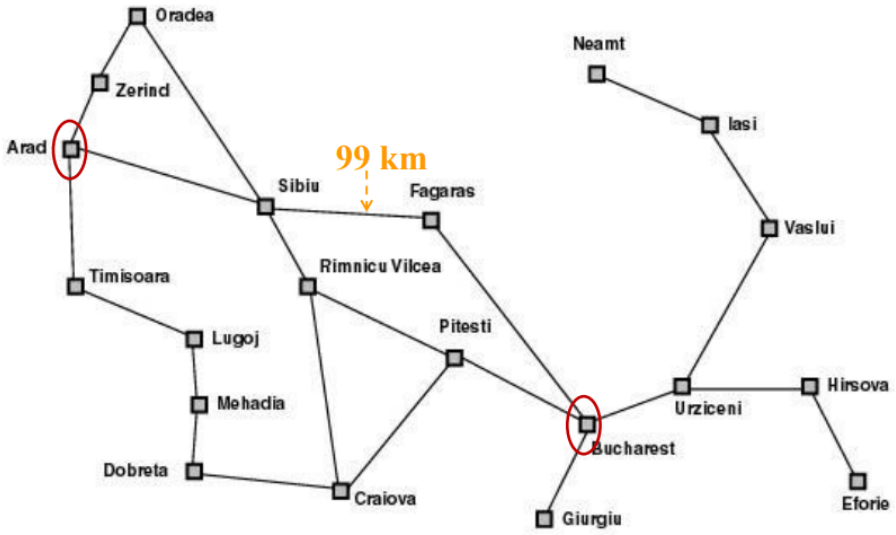


Figure 4: caso: trovare il percorso più breve da una città di partenza a una di arrivo

5. Costo del cammino: somma delle lunghezze delle strade

Lo spazio degli stati coincide con la rete di collegamenti tra città
Misura delle prestazioni
Costo totale = costo della ricerca + costo del cammino soluzione

3.1.2 Ricerca della soluzione

Generazione di un **albero di ricerca** sovrapposto allo **spazio degli stati** **Ricerca**: approfondire un'opzione, da parte le altre e riprenderle se non trova soluzione

3.2 Ricerca ad albero

3.3 I nodi dell'albero di ricerca

Un nodo n è una struttura dati con 4 componenti

- Stato: $n.stato$
- Nodo padre: $n.padre$
- Azione effettuata per generarlo: $n.azione$
- Costo del cammino dal nodo iniziale al nodo $n.costo - cammino$ indicata come $g(n)(= padre.costo - cammino + costo - passo\,ultimo$

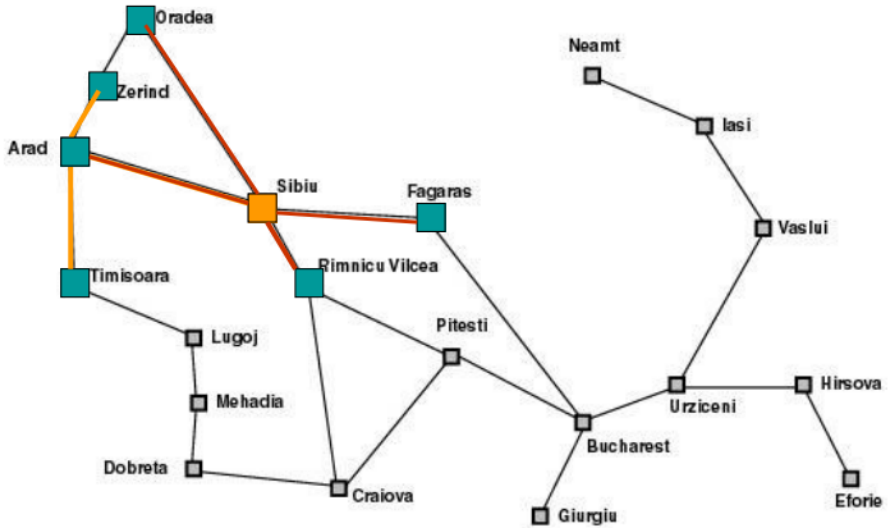


Figure 5: albero di ricerca sullo spazio degli stati

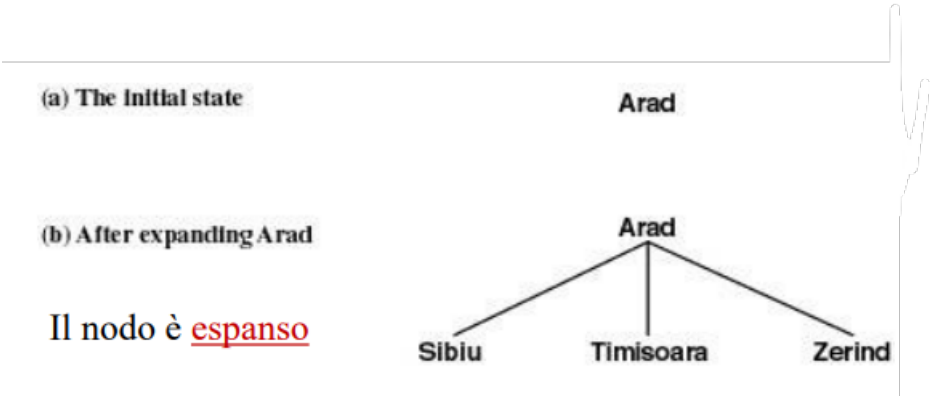


Figure 6: Stato iniziale e nodo espanso

Algorithm 1 Ricerca ad albero

function Ricerca-Albero (*problema*)
returns soluzione oppure **fallimento**
Inizializza la frontiera con stato iniziale del problema
loop do
if *la frontiera è vuota* **then return fallimento**
Scegli un nodo foglia da espandere e rimuovilo dalla frontiera
if *il nodo contiene uno stato obiettivo*
then return *la soluzione corrispondente*
Espandi il nodo e aggiungi i successori alla frontiera

3.4 Struttura dati per la frontiera

Frontiera: Lista dei nodi in attesa di essere espandi (foglie dell'albero di ricerca). E' implementata come una cosa con operazioni (empty, POP, Inert)

3.4.1 Strategie di ricerca

- FIFO → BF(Breadth-first): viene estratto l'elemento più vecchio
- LIFO → DF(Depht-first): viene estratto il più recentemente inserito
- Coda con priorità → UC: viene estratto quello con priorità più alta in base a una funzione di ordinamento, si riordina ad ogni inserimento di nodi.

3.4.2 Valutazione di una strategia

- Completezza: se la soluzione esiste viene trovata
- Ottimalità (ammissibilità): trova la soluzione migliore, con costo minore
- Complessità in tempo
- Complessità in spazio

3.5 Direzione della ricerca

Ricerca in avanti: (o guidata dai dati) si esplora lo spazio di ricerca dallo stato iniziale allo stato obiettivo
Ricerca all'indietro: (o guidata dall'obiettivo) si esplora lo spazio di ricerca a partire da uno stato goal e riconducendosi a sotto-goal fino a trovare uno stato iniziale.

4 Ricerca euristica

La ricerca esaustiva è difficilmente applicabile in problemi di complessità esponenziale. Vogliamo usare la conoscenza euristica per fare scelte "oculate" (conoscenza del problema ed esperienza). La conoscenza euristica consente di trovare una buona soluzione in tempi accettabili

4.1 Funzioni di valutazione euristica

Conoscenza del problema data tramite una *funzione di valutazione f* che include h detta funzione di valutazione euristica
$h : n \to R$
La funzione si applica al nodo ma dipende solo dallo stato (n.Stato)

$$f(n) = g(n) + h(n) \tag{1}$$

Figure 7: dove g(n) è il costo del cammino visto con UC

4.2 Algoritmo di ricerca Best-First

Con lo stesso algoritmo di UC, ma con uso di f (stima di costo) per la coda con priorità. La scelta di f determina la strategia di ricerca.

A ogni passo si sceglie il nodo sulla frontiera per cui il valore della f è migliore. In caso di un'euristica che stima la distanza della soluzione migliore significa minore $f < h$, nel caso **greedy best-first** si usa $f = h$

4.3 Algoritmo A

Un algoritmo A è un algoritmo Best First con una funzione di valutazione dello stato del tipo

$$f(n) = g(n) + h(n), \quad con\, h(n) \geq 0 \; e \; h(goal) = 0 \tag{2}$$

- $g(h)$ è il costo del cammino percorso per raggiungere n
- $h(n)$ una stima del costo per raggiungere da n un nodo goal

4.4 Algoritmo A*

Funzione di valutazione ideale

$$f^*(n) = g^*(n) + h^*(n) \tag{3}$$

$g^*(n)$ costo del cammino minimo da radice n
$h^*(n)$ costo del cammino minimo da n a goal
$f^*(n)$ costo del cammino minimo da radice a goal, attraverso n

4.4.1 Algoritmo A*: definizione

Definizione 1 (Euristica ammissibile) $\forall n.h(n) \leq h^*(n)$ *h è una sottostima*

(es. l'euristica della distanza in linea d'aria)

Definizione 2 (Algoritmo A*) *Un algoritmo A in cui h è una funzione euristica ammissibile*

Teorema 1 *Gli algoritmi A* sono ottimali*

Corollario 1 *$BF^{(+)}$ e UC sono ottimali* ($h(n) = 0$

5 Ricerca Locale

Gli algoritmi visti esplorano gli spazi di ricerca alla ricerca di un goal e restituiscono un **cammino soluzione**. 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 vincolo sono violati

5.1 Proprietà

- Non sono sistematici
- Tengono traccia solo del nodo corrente e si spostano su nodi adiacenti
- Non tengono traccia dei cammini
- Efficienti in occupazione di memoria
- Possono trovare soluzioni ragionevoli anche in spazi molto grandi e infiniti (spazi continui)
- Utili per risolvere problemi di ottimizzazione
  - Lo stato migliore secondo una *funzione obiettivo*
  - Lo stato di *costo minore*
  - *es: training di un modello di machine learning*

5.2 Panorama dello spazio degli stati

Uno stato ha una posizione sulla superficie e una altezza che corrisponde al valore della f. di valutazione (f. obiettivo). Un algoritmo provoca un movimento sulla superficie. Avvallamento più basso → costo minimo o picco più alto → max di un obiettivo

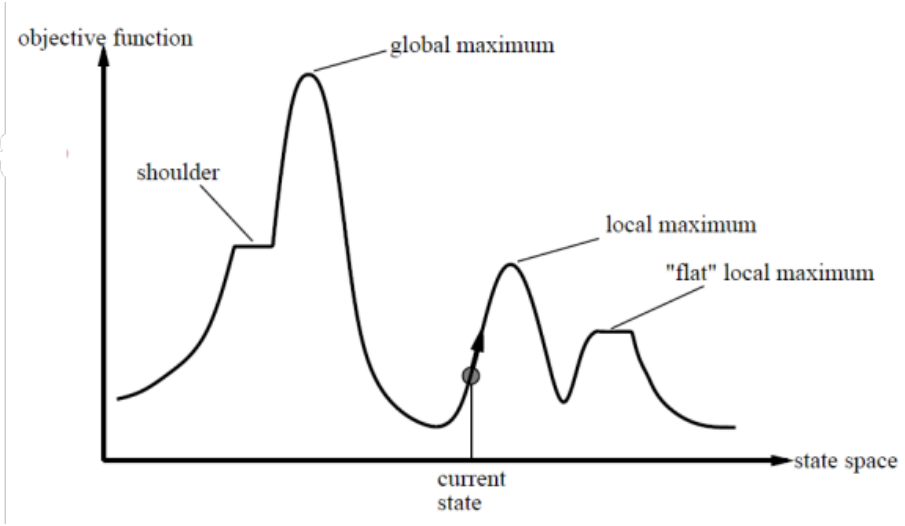


Figure 8: f euristica di costo della funzione obiettivo (non del cammino)

5.3 Ricerca in salita (Hill Climbing)

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)*

- Il migliore → ***Hill climbing a salita rapida/ripida***
- Uno a caso (tra quelli che salgono) → ***Hill climbing stocastico***
- Il primo → ***Hill climbing con prima scelta***

Se non ci sono stati successori migliori, l'algoritmo termina con fallimento

Algorithm 2 Algoritmo Hill climbing - steepest ascent

function Hill-climbing (*problema*)
  returns uno stato che è un massimo locale
  nodo-corrente = CreaNodo(*problema*.Stato iniziale)
  loop do
    vicino = il successori di *nodo-corrente* di valore più alto
    if *vicino*.Valore ≤ *nodo-corrente*.Valore **then return** *nodo-corrente*.Stato //*interrompe la ricerca*
    nodo-corrente = vicino //altrimenti, se vicino è migliore, continua

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