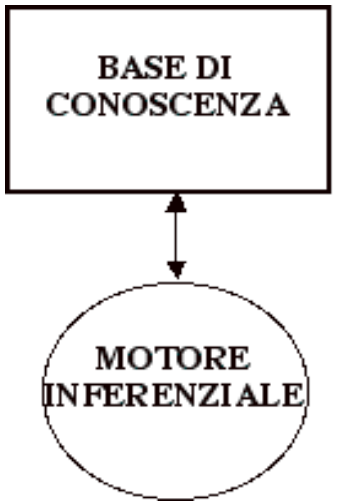
SISTEMI BASATI SULLA CONOSCENZA: PRINCIPI ARCHITETTURALI

- Ogni sistema basato sulla conoscenza deve riuscire ad esprimere **due** tipi di conoscenza in modo **separato** e **modulare**:
  - Conoscenza sul dominio dell'applicazione (**COSA**);
  - Conoscenza su **COME** utilizzare la conoscenza sul dominio per risolvere problemi (**CONTROLLO**).
- **Problemi:**
  - Esprimere la conoscenza sul problema
  - Quale strategia di controllo utilizzare



Strategia

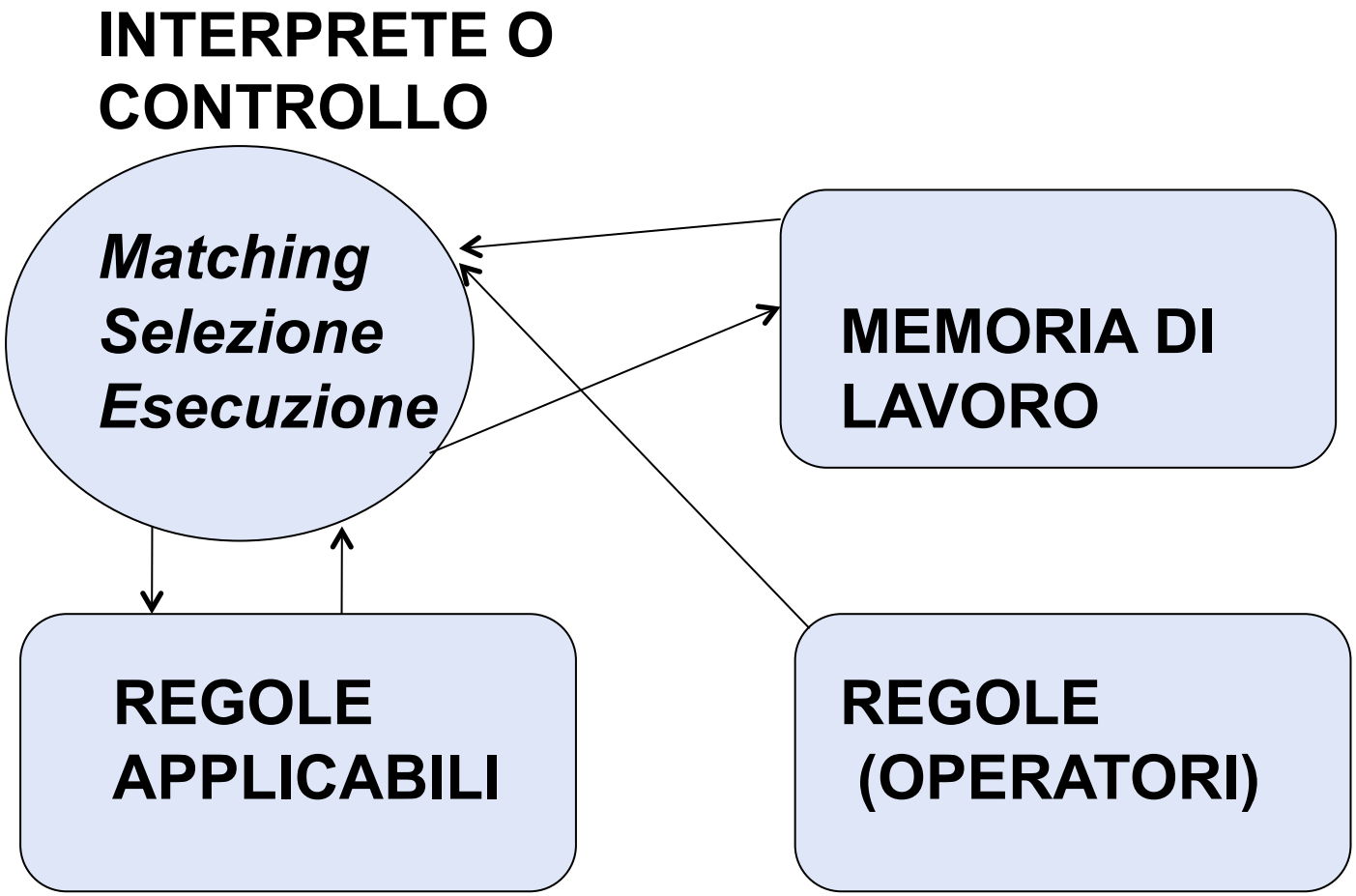
Rappresentazione

NEL CORSO CI OCCUPEREMO DI:

- Controllo ed inferenza
  - Soluzione di problemi di IA come ricerca nello spazio degli stati e Strategie
  - Ricerca con avversario (giochi)
  - Constraint Satisfaction Problems

- Rappresentazione della conoscenza
  - Formalizzazione di CSP
  - Logica e formule logiche
  - Sistemi a oggetti, [DL, Semantic Web]
  - Regole di produzione

ARCHITETTURA GENERALE:



RICERCA

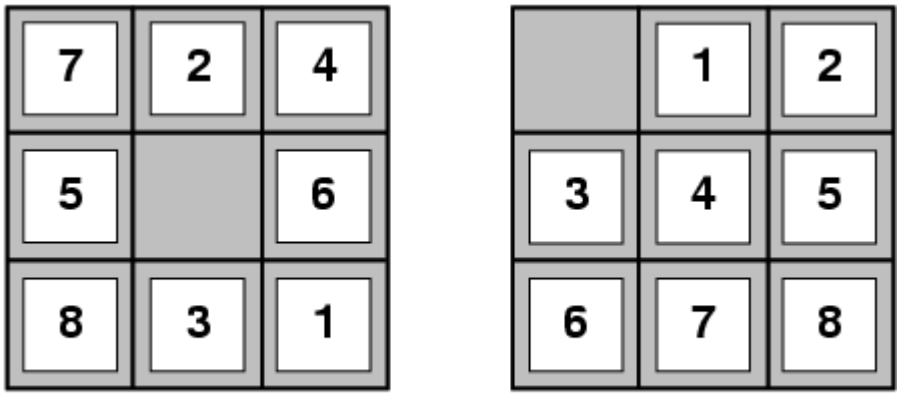
- Spazio degli stati
- Operatori (azioni, regole, etc)
  - Match
  - Select strategia di ricerca
  - Act
- Stato iniziale
- Stato obiettivo

Soluzione del problema come ricerca in uno spazio degli stati:

- Gran parte dei problemi di Intelligenza Artificiale hanno la ricerca (o controllo) come componente fondamentale.
- I problemi si possono modellare come **Problemi di Ricerca** in uno spazio degli stati (le **Strategie di Ricerca** cercano una soluzione in uno spazio di ricerca rappresentabile come albero OR).
- **Spazio degli stati**
  - Lo spazio degli stati è l'insieme di tutti gli stati raggiungibili dallo stato iniziale con una qualunque sequenza di operatori.

- **Lo Spazio degli Stati è Caratterizzato da:**
  - Uno **stato iniziale** in cui l'agente sa di trovarsi (non noto a priori);
  - Un **insieme di azioni** possibili che sono disponibili da parte dell'agente (Operatori che trasformano uno stato in un altro o più formalmente una funzione successore S(X) che riceve in ingresso uno stato e restituisce ***l'insieme degli stati raggiungibili***).
  - Un **cammino** è una sequenza di azioni che conduce da uno stato a un altro.

Esempio: The 8-puzzle



Start State Goal State

stati? Locazioni delle tessere

azioni? Muovi la lacuna a sinistra, destra, alto, basso.

goal test? = stato goal (dato)

costo? 1 per mossa.

TEST: RAGGIUNGIMENTO DEL GOAL

- La verifica può essere solo l'appartenenza dello stato raggiunto all'insieme dello stato (o degli stati) goal.
- A volte lo stato obiettivo può essere descritto in modo "astratto" attraverso proprietà (si pensi allo stato di scacco matto).

- **Altri obiettivi (non solo raggiungere il goal, ma...):**
  - trovare la sequenza di operatori che arrivano al goal (il *piano*);
  - trovare tutte le soluzioni;
  - trovare una soluzione ottima. In quest'ultimo caso vuol dire che una soluzione può essere preferibile a un'altra.
  - Una funzione **costo di cammino** assegna un costo a un cammino (in gran parte dei casi quale somma del costo delle azioni individuali lungo il cammino).

Problem-solving agents (tratto da Russel, Norvig)

```
function SIMPLE-PROBLEM-SOLVING-AGENT(percept) returns an action
    static: seq, an action sequence, initially empty
            state, some description of the current world state
            goal, a goal, initially null
            problem, a problem formulation

    state ← UPDATE-STATE(state, percept)
    if seq is empty then do
        goal ← FORMULATE-GOAL(state)
        problem ← FORMULATE-PROBLEM(state, goal)
        seq ← SEARCH( problem)
    action ← FIRST(seq)
    seq ← REST(seq)
    return action
```

Agente risolutore

- L'agente formula un obiettivo *goal* e un problema *problem*
- Quindi cerca (*SEARCH*) una sequenza s*eq* di azioni in grado di risolverlo
- Passa poi ad eseguire le azioni della sequenza una per volta
- Si noti che l'agente ignora, in fase di esecuzione delle azioni, la percezione dello stato effettivamente raggiunto

Formulazione del problema :

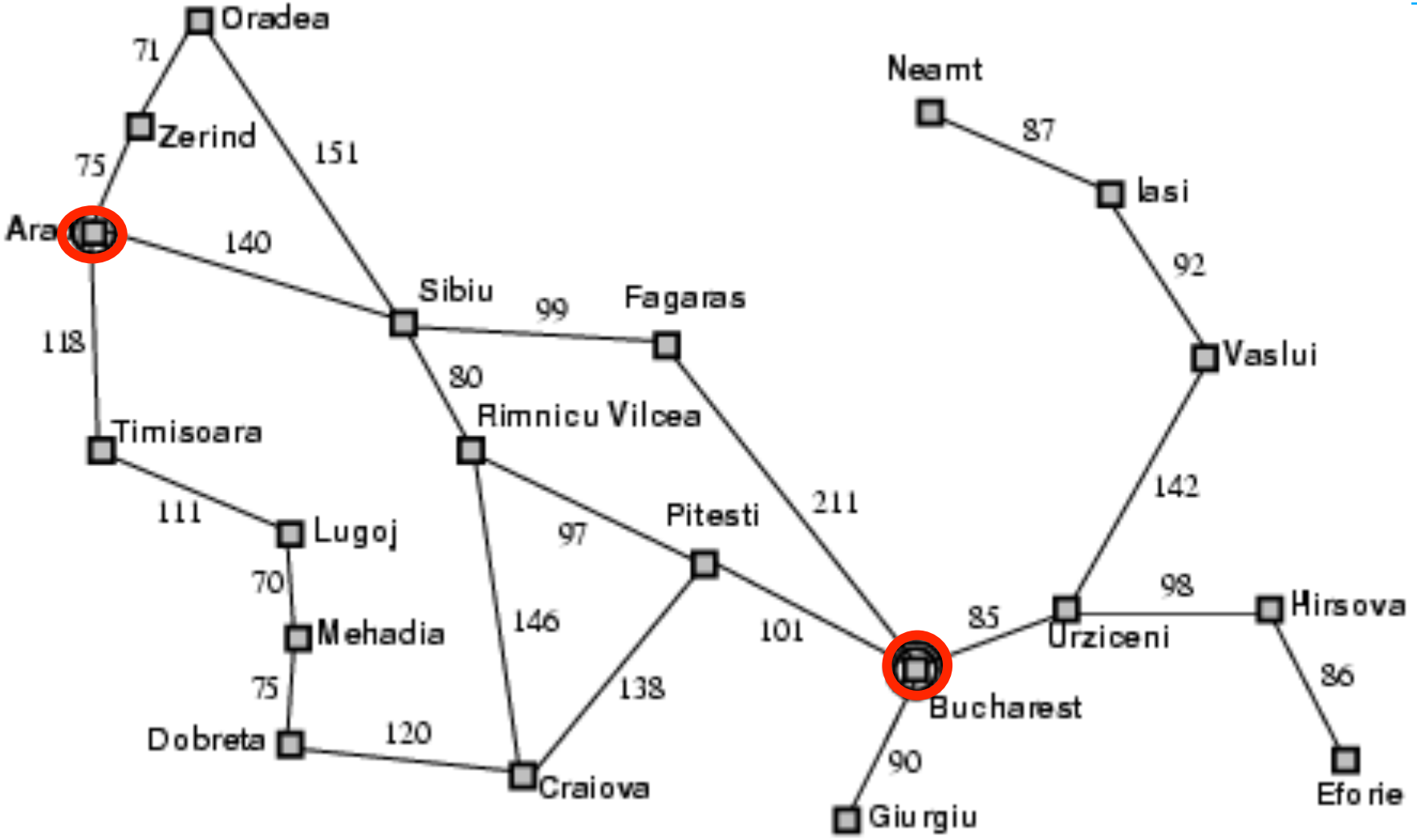
- lo **stato iniziale**;
- descrizione delle **azioni** possibili che sono disponibili da parte dell'agente (operatori che trasformano uno stato in un altro o più formalmente una funzione successore S(X) che riceve in ingresso uno stato e restituisce ***l'insieme degli stati raggiungibili***);
- **test obiettivo** (descrizione di uno stato goal)
- funzione **costo di cammino**

Esempio: Romania

- Una vacanza in Romania; attualmente ad Arad.
- I voli partono da Bucharest domani, e vogliamo arrivare a Bucharest
- goal:
  - Essere a Bucharest
- problema:
  - stati: ciascuna città
  - azioni: percorrere un tratto diretto fra una coppia di città
- soluzione:
  - Sequenza di città, ad es., Arad, Sibiu, Fagaras, Bucharest.

- La funzione **costo di cammino** assegna un costo quale somma del costo delle azioni individuali lungo il cammino (lunghezza in km, ad esempio).

Esempio: Romania



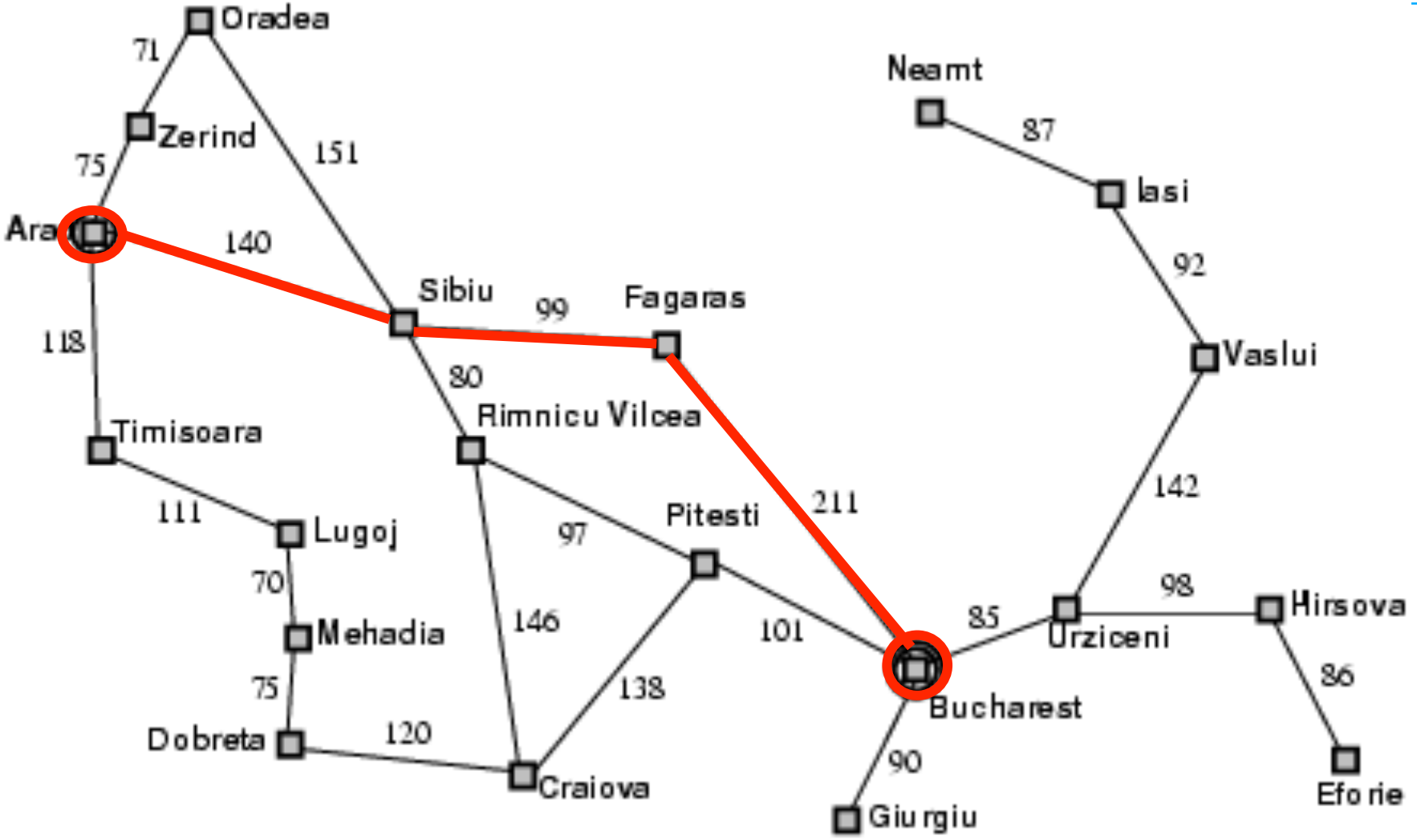
Formulazione del problema

Il problema è definito da quattro punti:

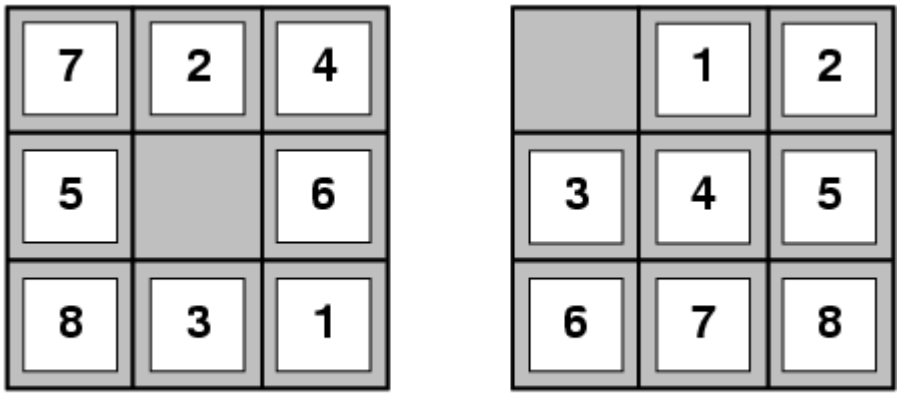
1. Stato iniziale es., "at Arad"
2. Azioni o funzioni successore *S(x)* = insieme di coppie azione-stato
   - es., *S(Arad)* = {<*Arad* → *Zerind, Zerind*>, … }
3. goal test, può essere
   - esplicito, es., *x* = "at Bucharest"
   - implicito, es., *controllamappa(x)*
4. Costo della strada es., somma delle distanze, numero di azioni eseguite ecc. $c(x,a,y) \geq 0$

- Una soluzione è una sequenza di azioni che portano dallo stato iniziale al goal.

E’ la più corta in termini di mosse, ma non in termini di km percorsi …



Esempio: The 8-puzzle



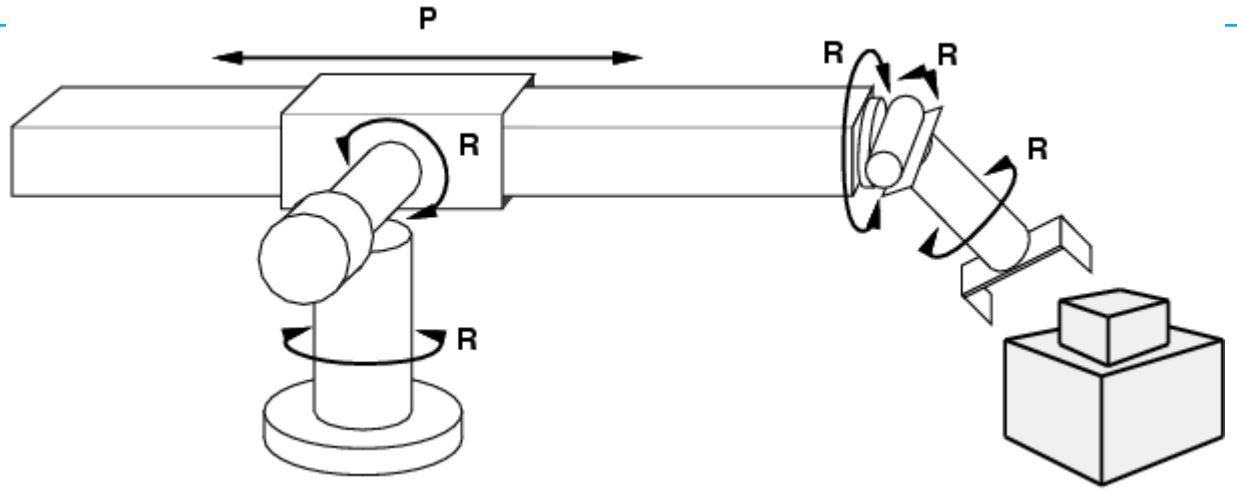
stati? Locazioni delle tessere

azioni? Muovi la lacuna a sinistra, destra, alto, basso.

goal test? = stato goal (dato)

costo? 1 per mossa.

Esempio: assemblaggio con un robot



stati: coordinate dei giunti del robot, parti dell'oggetto da assemblare e posizione.
actions?: movimenti dei giunti del robot.
goal test?: completamente assemblato
costo della strada: tempo di esecuzione.

ESEMPIO: MISSIONARI E CANNIBALI

ESEMPIO:

- 3 missionari e 3 cannibali devono attraversare un fiume. C'è una sola barca che può contenere al massimo due persone. Per evitare di essere mangiati i missionari non devono mai essere meno dei cannibali sulla stessa sponda (stati di fallimento).

- Stato: sequenza ordinata di tre numeri che rappresentano il numero di missionari, cannibali e barche sulla sponda del fiume da cui sono partiti.

- Perciò lo stato iniziale è: (3,3,1) (nota l'importanza dell'astrazione).

ESEMPIO: MISSIONARI E CANNIBALI

- Operatori: gli operatori devono portare in barca
  - 1 missionario, 1 cannibale,
  - 2 missionari,
  - 2 cannibali,
  - 1 missionario
  - 1 cannibale.
- Al più 5 operatori (grazie all'astrazione sullo stato scelta).
- Test Obiettivo: Stato finale (0,0,0)
- Costo di cammino: numero di traversate.

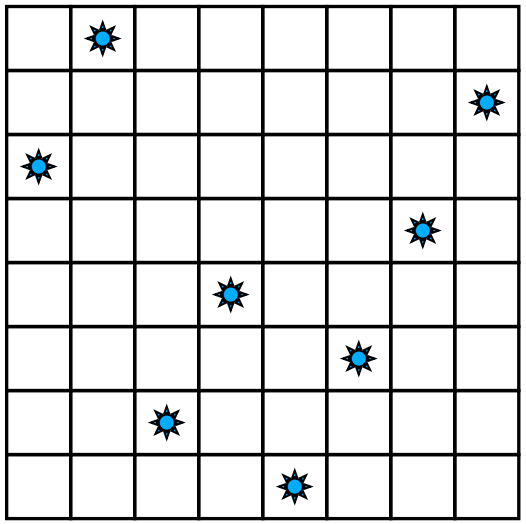
ESEMPIO: CRIPTOARITMETICA

```
    S   E   N   D   +
    M   O   R   E   =
-------------------------
M   O   N   E   Y
```

- Operatori: sostituisci tutte le stesse lettere con una cifra che non compare nel rompicapo;
- Test obiettivo: il rompicapo contiene solo cifre e rappresenta una somma corretta;
- Costo di cammino: 0

IL PROBLEMA DELLE N REGINE

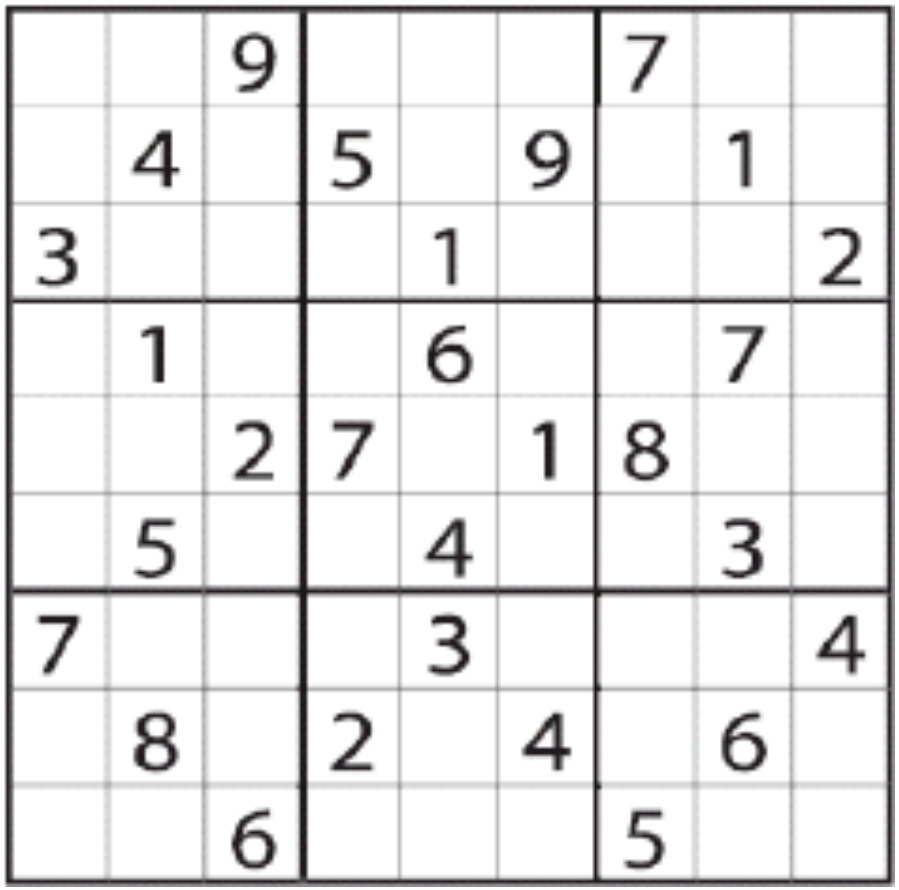
- Inserire 8 regine su una scacchiera in modo che non si mangino.
- Stati: qualsiasi configurazione da 0 a N regine sulla scacchiera;
- Operatori: aggiungi una regina in un qualsiasi quadrato;
- Test obiettivo: N regine sulla scacchiera, nessuna minacciata;
- Costo di cammino: zero.



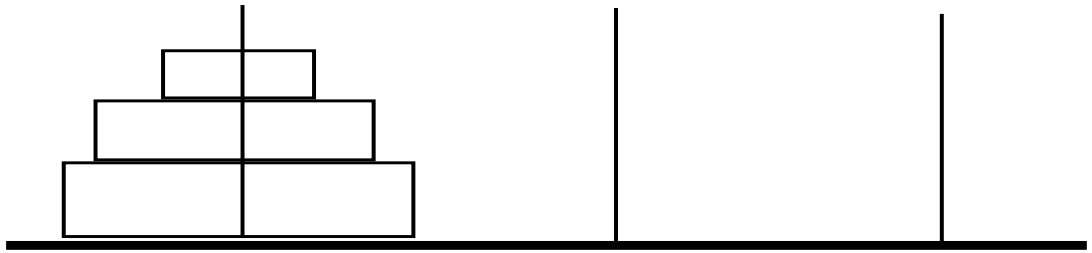
SUDOKU

- Alcune caselle sono già fissate, le altre vanno riempite con numeri dall'1 al 9
- la tavola è suddivisa in 9 quadranti di 3x3 caselle
- su ogni quadrante devono essere messi tutti e 9 i numeri, senza ripetizioni
- inoltre, ogni riga orizzontale e ogni riga verticale dell'intera tavola non deve contenere ripetizioni di numeri

SUDOKU: griglia



ESEMPIO: LA TORRE DI HANOI



- Spostare i cilindri concentrici da (1) a (3) nella stessa configurazione di (1) utilizzando eventualmente anche (2). Un cilindro più grande non può essere inserito su un cilindro più piccolo.

ALTRI ESEMPI

- Il problema del commesso viaggiatore:
  - Un commesso viaggiatore ha una lista di città che deve visitare tutte una sola volta. Vi sono strade dirette fra ogni coppia di città. Si trovi la strada più breve che il commesso deve seguire per compiere un viaggio completo che inizi e termini in una qualsiasi delle città.
  - (esplosione combinatoria, per 10 città è 10!)

- Il problema della scimmia e la banana:
  - Afferrare una banana appesa al soffitto (avendo a disposizione una sedia e bastone).

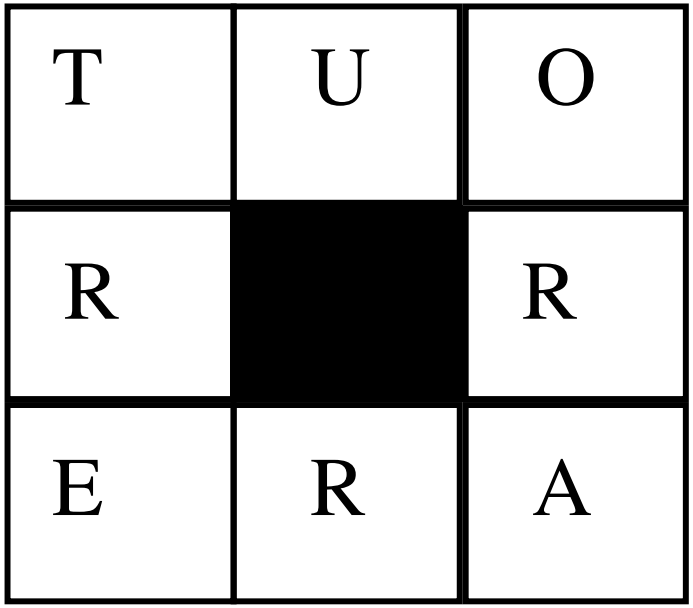
ESEMPIO: CAPRA, LUPO E CAVOLO

- Portare capra, lupo e cavolo dall'altra parte senza che si mangino (si mangiano se rimangono assieme senza il conducente della barca). Nella barca se ne può trasportare uno solo alla volta.

- Soluzione:
  - Porta la capra sull'altra sponda;
  - Torna indietro
  - Porta il cavolo sull'altra sponda
  - Porta indietro la capra
  - Porta il lupo sull'altra sponda
  - Torna indietro
  - Porta la capra sull'altra sponda

SPAZIO DI RICERCA MOLTO AMPIO

- Giochi: scacchi
- Le parole crociate



ALTRE CARATTERISTICHE DEL PROBLEMA

- IL SISTEMA È DECOMPONIBILE?
- Esempio:
  - $\int X + 3X + \sin X * \cos X \, dX$

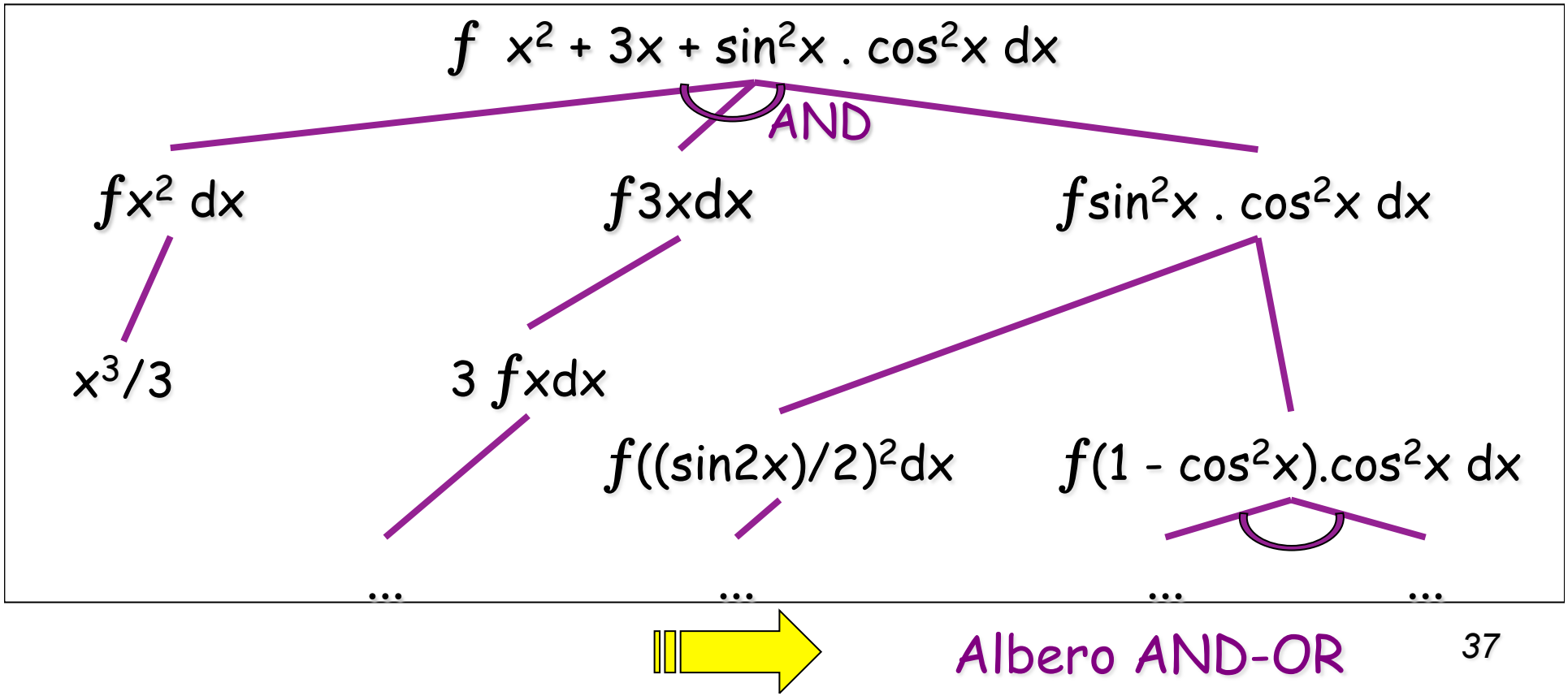
    corrisponde alla somma degli integrali:

  - $\int X \, dX + \int 3X \, dX + \int \sin X * \cos X \, dX$
- NON TUTTI I SISTEMI SONO DECOMPONIBILI:
  - Si possono avere sotto-problemi interagenti,

Decomposizione di problemi:

Es: Integrali simbolici:

- Stato: l'integrale da calcolare
- Regole: riduzioni di integrali
- Obiettivo: tutti gli integrali devono essere eliminati

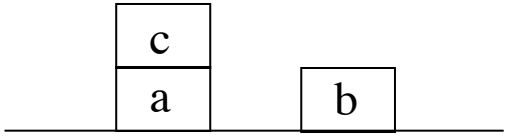


Albero AND-OR

ESEMPIO:
Il MONDO A BLOCCHI (planning)

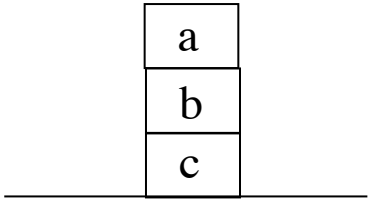
- Stato Iniziale:

```
handempty.  clear(b).    clear(c).
on(c,a).    ontable(a).  ontable(b).
```



- Operatori:

```
clear(X) → ontable(X)
clear(X)  and clear(Y) → on(X,Y)
```



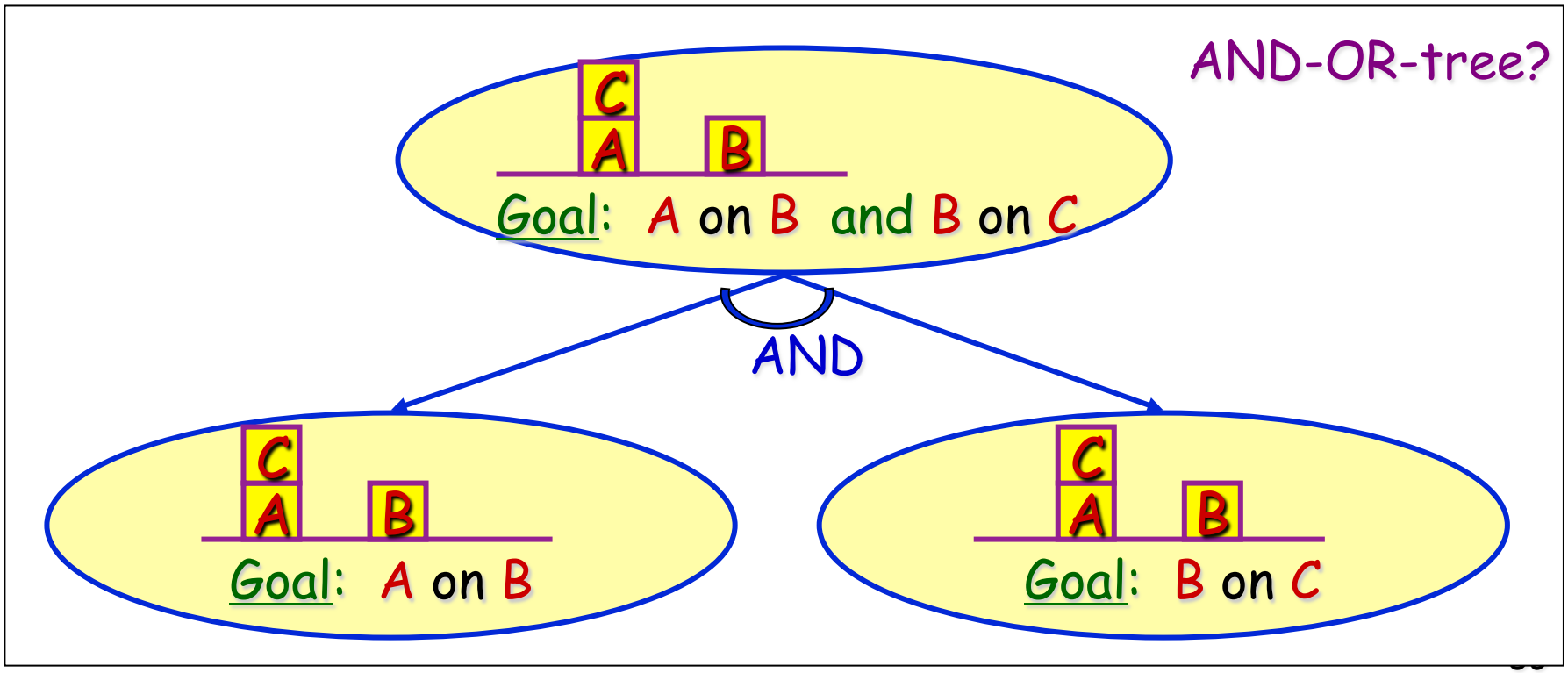
- Goal:

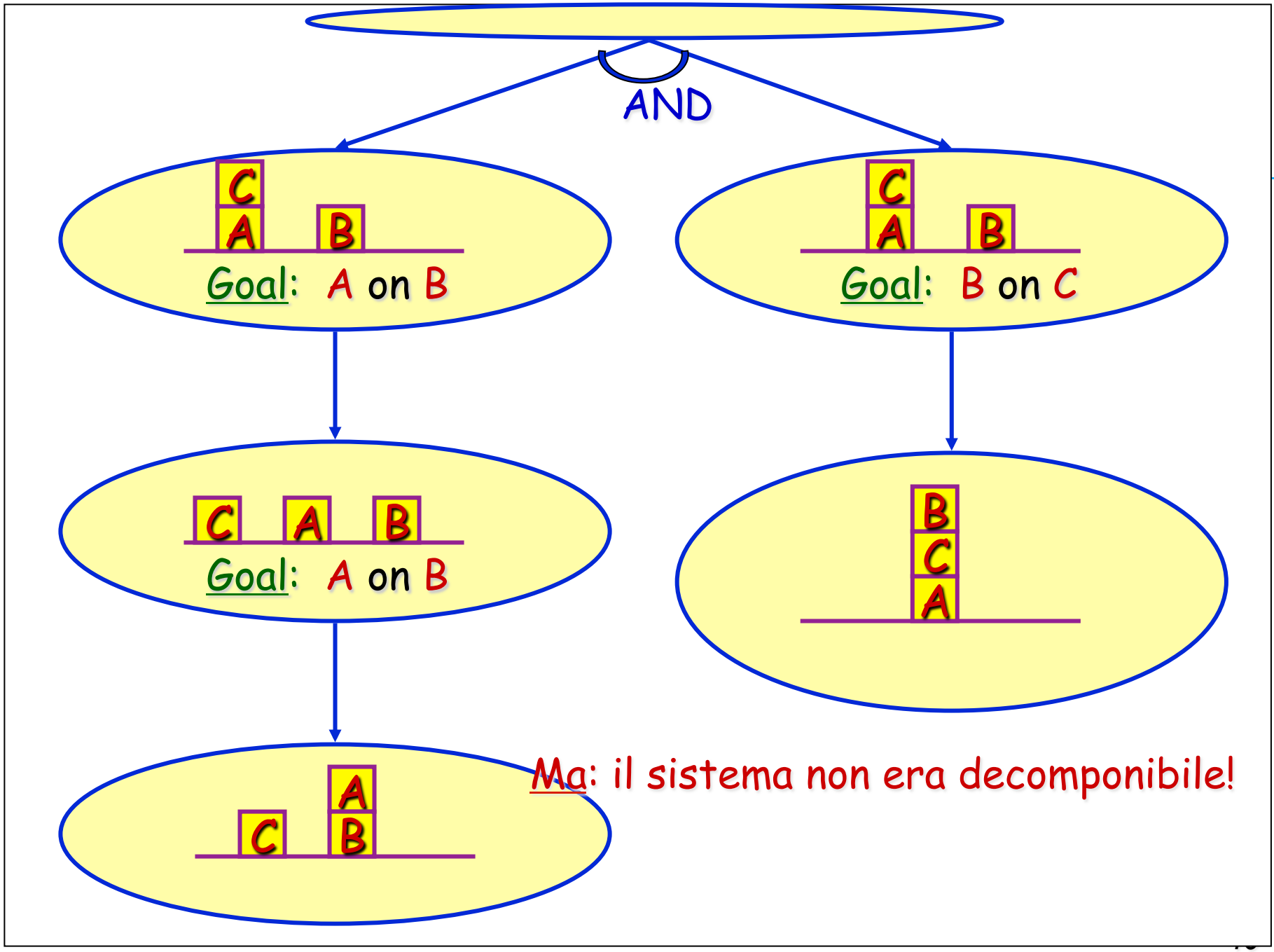
```
on(b,c) and on(a,b)
```

- I due sottogoal NON POSSONO ESSERE RISOLTI SEPARATAMENTE perché interagiscono.

Mondo a blocchi

- Inizialmente: C is on A and B is on the table.
- regole: to move any free block to another or to the table
- Goal: A is on B and B is on C.




AND
C
A
B
Goal: A on B
C
A
B
Goal: B on C
C
A
B
Goal: A on B
B
C
A
A
C
B
Ma: il sistema non era decomponibile!

ALTRE DOMANDE

- Esiste interazione con l'utente (spiegazione, conoscenza incompleta)?
- Si possono ignorare dei passi? (come nella dimostrazione di teoremi)
- Si possono annullare dei passi (8-puzzle) o il sistema è *irricoverabile* (scacchi)?
- SISTEMI DI PRODUZIONE MONOTONI:
  - L'applicazione di una regola R non invalida la possibilità di applicare regole applicabili all'atto della selezione di R.
- NON C'È NECESSITÀ DI BACKTRACKING

ESEMPIO:
LOGICA DIMOSTRATORE DI TEOREMI

- Fatto:

```
a.
a → e.
a → d.
d → f.
```

- Goal: `f.`

- Non è il caso del mondo a blocchi

- Nota:
  - Il formalismo dei sistemi di produzione è generale (può rappresentare tutte le funzioni computabili).
  - È possibile trasformare un sistema di produzione non-monotono in uno monotono (formulazione di Green; formulazione di Kowalski). La trattazione, però, si complica notevolmente.

ALTRI PROBLEMI

- Problema a stati singoli:
  - Lo stato è sempre accessibile.
  - L'agente conosce esattamente che cosa produce ciascuna delle sue azioni e può calcolare esattamente in quale stato sarà dopo qualunque sequenza di azioni.

- Problema a stati multipli:
  - Lo stato non è completamente accessibile. L'agente deve ragionare su possibili stati che potrebbe raggiungere.
  - In più: anche l'effetto delle azioni può essere sconosciuto o imprevisto.
  - Spesso risolvere questi problemi richiede capacità di rilevamento durante la fase di esecuzione → Agire nel mondo reale piuttosto che in un suo modello.

- Tratteremo estesamente solo ***problemi a stati singoli***.