

# Intelligenza Artificiale e Machine Learning

Esercizi Svolti di Intelligenza Artificiale e Machine Learning

*Anno Accademico: 2024/25*

*Giacomo Sturm*

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Informatica e delle Tecnologie Aeronautiche  
Università degli Studi “Roma Tre”*

Sorgente del file LaTeX disponibile al seguente link:

<https://github.com/00Darxk/Intelligenza-Artificiale-e-Machine-Learning>

## Indice

<b>1</b>	<b>Esercitazione del 13 Novembre</b>	<b>1</b>
1.1	Esercizio 1 . . . . .	1
1.2	Esercizio 2 . . . . .	3
1.3	Esercizio 3 . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Esercitazione del 25 Novembre</b>	<b>7</b>
2.1	Esercizio 1 . . . . .	7

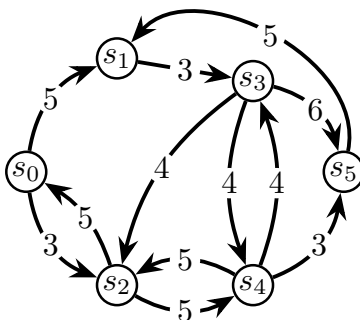
# 1 Esercitazione del 13 Novembre

## 1.1 Esercizio 1

Dato il seguente Spazio degli Stati:  $s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$ , con stato iniziale  $s_0$ , e stato obiettivo  $s_5$ . Questi stati sono collegati da certi operatori di costo:

- $F$ : costo 3.  $F(s_0) = s_2, F(s_1) = s_3, F(s_4) = s_5$ ;
- $G$ : costo 4.  $G(s_3) = s_2, G(s_3) = s_4, G(s_4) = s_3$ ;
- $H$ : costo 5;  $H(s_0) = s_1, H(s_2) = s_0, H(s_2) = s_4, H(s_4) = s_2, H(s_5) = s_1$ ;
- $I$ : costo 6;  $I(s_3) = s_5$ .

Nel modo seguente:



E la seguente funzione euristica:  $h(s_0) = 10, h(s_1) = 6, h(s_2) = 7, h(s_3) = 4, h(s_4) = 5, h(s_5) = 0$ .

1. Eseguire l'algoritmo A\* con modalità tree-search, fino alla terminazione disegnando l'albero di ricerca, riportando per ogni passo il contenuto della frontiera, il nodo scelto per l'espansione ed i nodi generati;
2. Riportare la soluzione trovata dell'algoritmo, indicando se tale soluzione è o non è quella ottima e indicando se la funzione euristica  $h$  rispetta la condizione di ammissibilità (motivare la risposta).

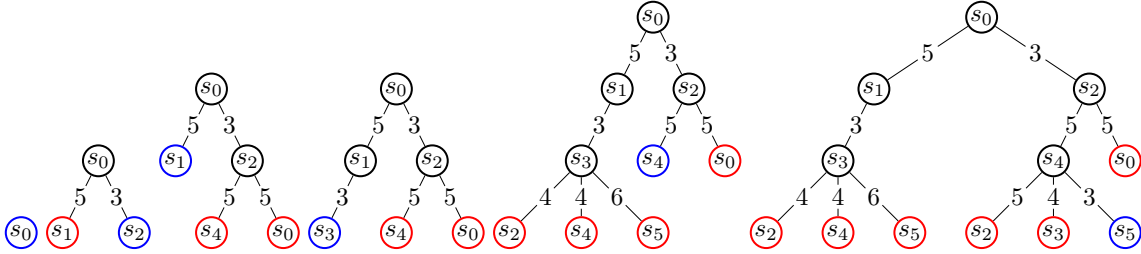
### Domanda 1

Bisogna specificare i vari passi ottenuti dall'algoritmo A\*, specificando la frontiera i nodi contenuti ed espansi ed il nodo successivo da espandere.

1. Nella frontiera è presente solamente lo stato iniziale  $[s_0]$ ;

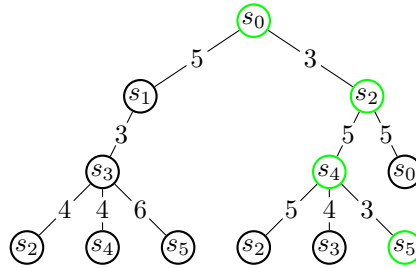
2. Si espande lo stato iniziale  $s_0$ , nella frontiera si ha  $[s_2, s_1]$ , dove  $f(s_2) = 3 + 7$  e  $f(s_1) = 5 + 6$ ;
3. Si espande il nodo  $s_2$ , con  $f(s_2) = 10$ , per cui nella frontiera entra il nodo  $s_4$  e  $s_0$ :  $[s_1, s_4, s_0]$ , con  $f(s_1) = 5 + 6$ ,  $f(s_4) = 8 + 5$  e  $f(s_0) = 8 + 10$ ;
4. Si espande il nodo  $s_1$ , con  $f(s_1) = 12$ , per cui nella frontiera entra il nodo  $s_3$ :  $[s_3, s_4, s_0]$ , con  $f(s_3) = 8 + 4$ ,  $f(s_4) = 8 + 5$  e  $f(s_0) = 8 + 10$ ;
5. Si espande il nodo  $s_3$ , con  $f(s_3) = 12$ , per cui nella frontiera entra il nodo  $s_2$ ,  $s_4$  ed  $s_5$ :  $[s_4(13), s_5, s_4(17), s_0, s_2]$ , con  $f(s_4) = 8 + 5$ ,  $f(s_5) = 14 + 0$ ,  $f(s_4) = 12 + 5$ ,  $f(s_0) = 8 + 10$  ed  $f(s_2) = 12 + 7$ ;
6. Si espande il nodo  $s_4$  con  $f(s_4) = 13$ , per cui nella frontiera entra il nodo  $s_2$ ,  $s_3$  ed  $s_5$ :  $[s_5(11), s_5(14), s_3, s_4, s_0, s_2(19), s_2(20)]$ , con  $f(s_5) = 11 + 0$ ,  $f(s_5) = 14 + 0$ ,  $f(s_3) = 12 + 4$ ,  $f(s_4) = 12 + 5$ ,  $f(s_0) = 8 + 10$ ,  $f(s_2) = 12 + 7$ ,  $f(s_2) = 13 + 7$ ;
7. Si espande il nodo  $s_5$ , con  $f(s_5) = 11$ . Questo nodo è il nodo obiettivo, quindi l'algoritmo termina.

I nodi rossi sono quelli nella frontiera, i nodi blu sono i nodi nella frontiera da espandere:



## Domanda 2

La soluzione dell'algoritmo è  $s_0, s_2, s_4, s_5$ , di costo 11:



La funzione euristica  $h$  utilizzata è maggiore del costo effettivo per il nodo  $s_4$ :

$$h(s_4) = 5 > 3 = h^*(s_4) \quad (1.1)$$

Quindi non è una funzione ammissibile. La soluzione trovata non è garantito sia la soluzione ottima.

## 1.2 Esercizio 2

Scrivere il codice Python per la gestione di una lista concatenata ordinata, avvalendosi delle classi.

```
class Node:
    def __init__(self, data, next):
        self.__data = data
        self.__next = next

class List:
    def __init__(self):
        self.__head = None
        self.__tail = None

    def add(self, newNode):
        if self.__head == None or self.__head.data > newNode.data:
            if self.__head == None:
                self.__tail = newNode
            newNode.next = self.__head
            self.__head = newNode

        elif self.__tail.data < newNode.data:
            if self.__tail != None:
                self.__tail.next = newNode
            if self.__head == None:
                self.__head = newNode
            self.__tail = newNode

        else:
            p = self.__head
            while p.next != None and p.data < newNode.data:
                p = p.next
            newNode.next = p.next
            p.next = newNode
```

## 1.3 Esercizio 3

Illustrare nel dettaglio l'algoritmo "Greedy", presentando il codice Python, opportunamente commentato per il problema della ricerca di un itinerario.

Per realizzare l'algoritmo sono necessarie le classi per gli stati, individuati solamente dal loro nome nello spazio degli stati, ed i nodi dell'albero di ricerca:

```
# nodo dell'albero di ricerca: contenente lo stato, il nodo genitore
# ed il valore della funzione euristica per lo stato
class Node:
    def __init__(self, state, parent, h):
        self.state = state
        self.parent = parent
        self.h = h

    # funzione per stampare la soluzione
    def printPath(self):
        if self.parent != None:
            self.parent.printPath()
        print(">", self.state.name)

# stato del problema
class State:
    # crea uno stato, definito solamente dal nome
    # se non viene specificato crea lo stato iniziale
    def __init__(self, name = None):
        if name == None:
            self.name = self.getInitialState()
        else:
            self.name = name

    # restituisce lo stato iniziale definito a priori
    def getInitialState(self):
        initialState = statoIniziale
        return initialState

    # ottiene i successori dal dizionario 'connections'
    def successorFunction(self):
        return connections[self.name]

    # verifica se è uno stato obiettivo definito a priori
    def checkGoalState(self):
        return self.name == statoObiettivo
```

La funzione euristica ed i nodi successori per un determinato stato si possono implementare allo stesso modo tramite un dizionario, dove la chiave è il nome dello stato, ed il valore è o il valore dell'euristica o la lista degli stati successori:

```
# dizionario dei successori:
connections['A'] = ['B', 'C']
connections['B'] = ['C']
connections['C'] = ['B', 'D']
connections['D'] = ['B', 'C', 'E']
connections['E'] = ['A', 'C']
# dizionario delle euristiche
h['A'] = 10
h['B'] = 9
h['C'] = 6
h['D'] = 3
h['E'] = 0
```

L'algoritmo inizializza la frontiera con coda di priorità, contenente solamente l'elemento corrispondente alla radice. In seguito continua ad iterare fino a quando non svuota la frontiera, rimuovendo il primo elemento in frontiera, rappresentati come tuple euristica e nodo. In questo modo si possono ordinare in base al loro valore di euristica. Se il nodo estratto è un obiettivo, termina l'algoritmo e stampa la soluzione, altrimenti viene espanso ed i suoi figli vengono inseriti all'interno della frontiera.

```
import queue

def Greedy_Best_First():
    # crea la frontiera con una priority queue
    fringe = queue.PriorityQueue()

    # crea lo stato iniziale
    initialState = State()

    # crea la radice dell'albero di ricerca e la aggiunge alla frontiera
    root = Node(initialState, None, h[initialState.name])
    fringe.put((root.h, root))

    while not fringe.empty():
        # si itera prendendo il primo elemento della frontiera
        # fino all'esaurimento dei suoi elementi
        (currentH, currentNode) = fringe.get()

        # si controlla se corrisponde ad uno stato obiettivo
        if currentNode.state.checkGoalState():
            currentNode.state.printPath()
            break
        # altrimenti si espande e si aggiungono i suoi figli alla frontiera
    else:
```

```
childStates = currentNode.state.successorFunction()
# crea gli elementi corrispondenti per l'aggiunta in frontiera
for childState in childStates:
    childNode = Node(State(childState), currentNode,
                     h[State(childState).name])
    fringe.put((childNode.h, childNode))
```



## 2 Esercitazione del 25 Novembre

### 2.1 Esercizio 1

Dati i seguenti stati  $s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5$ , si hanno le seguenti operazioni:

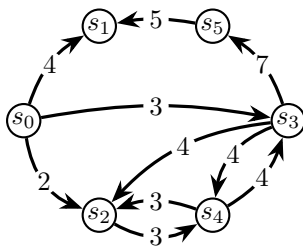
- $F$  di costo 2:  $F(s_0) = s_2$ ;
- $G$  di costo 3:  $G(s_0) = s_3, G(s_2) = s_4, G(s_4) = s_2$ ;
- $H$  di costo 4:  $H(s_0) = s_1, H(s_3) = s_2, H(s_3) = s_4, H(s_4) = s_3$ ;
- $I$  di costo 5:  $I(s_5) = s_1$ ;
- $L$  di costo 7:  $L(s_3) = s_5$ ;

Con la seguente funzione euristica:  $h(s_0) = 10, h(s_1) = 7, h(s_2) = 7, h(s_3) = 5, h(s_4) = 4$  e  $h(s_5) = 0$ .

1. Disegnare lo spazio degli stati;
2. Eseguire l'algoritmo A\* con modalità graph-search, fino alla terminazione disegnando l'albero di ricerca, riportando per ogni passo il contenuto della frontiera e della close, il nodo scelto per l'espansione ed i nodi generati;
3. Riportare la soluzione trovata dell'algoritmo, indicando se tale soluzione è o non è quella ottima e indicando se la funzione euristica  $h$  rispetta la condizione di ammissibilità (motivare la risposta).

#### Domanda 1

Si ha lo spazio degli stati:

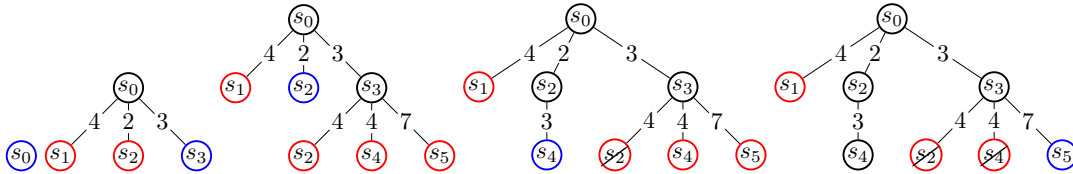


#### Domanda 2

Si effettua l'algoritmo A\* in modalità graph-search, quindi quando viene espanso un nodo, il suo stato corrispondente viene inserito nella lista close e quando viene scelto per l'espansione viene scartato e si passa al passo successivo. I nodi relativi ai nodi già visitati dato che non verranno sicuramente espansi non vengono inseriti nella frontiera quando vengono generati da uno stato genitore. Si descrive il processo dell'algoritmo:

1. La close è vuota, nella frontiera è presente solo il nodo corrispondente allo stato iniziale  $[s_0]$ , e la close è vuota  $[]$ ;
2. Viene estratto dalla frontiera ed espanso lo stato  $s_0$  ed i suoi figli  $s_1$ ,  $s_2$  ed  $s_3$  vengono inseriti nella frontiera  $[s_3, s_2, s_1]$  con  $f(s_3) = 8$ ,  $f(s_2) = 9$  e  $f(s_1) = 11$ . La close contiene lo stato iniziale  $[s_0]$ ;
3. Viene espanso il nodo  $s_3$  e vengono inseriti nella frontiera i suoi figli  $s_2$ ,  $s_4$  e  $s_5$ . Bisogna distinguere i due nodi associati entrambi allo stato  $s_2$ , tramite il valore della loro funzione di valutazione:  $[s_2(9), s_5, s_1, s_4, s_2(14)]$  con  $f(s_2) = 8$ ,  $f(s_5) = 10$ ,  $f(s_1) = 11$ ,  $f(s_4) = 11$  e  $f(s_2) = 14$ . Mentre la close contiene i nodi  $[s_0, s_3]$ ;
4. Viene espanso il nodo  $s_2$  e si inserisce il suo nodo figlio nella frontiera, specificando il valore per distinguerlo dall'altro nodo associato allo stato  $s_4$ . Poiché lo stato  $s_2$  è già stato visitato si potrebbe rimuovere dalla frontiera, poiché anche se venisse scelto non verrebbe espanso. La frontiera contiene i nodi  $[s_4(9), s_5, s_1, s_4(11), \cancel{s_2}]$ , con  $f(s_4) = 9$ ,  $f(s_5) = 10$ ,  $f(s_1) = 11$ ,  $f(s_4) = 11$  e  $f(s_2) = 14$ . La close contiene i nodi  $[s_0, s_3, s_2]$ ;
5. Viene espanso il nodo  $s_4$ , i suoi nodi corrispondono a stati presenti nella close, quindi non vengono inseriti nella frontiera. La frontiera è quindi  $[s_5, s_1, \cancel{s_4}, \cancel{s_2}]$ . La close contiene i nodi  $[s_0, s_3, s_2, s_4]$ ;
6. Viene estratto il nodo  $s_5$ , questo rappresenta lo stato obiettivo, quindi l'algoritmo termina.

In nero sono indicati i nodi espansi, quindi all'interno della close, in rosso i nodi all'interno della frontiera ed in blu i nodi scelti per l'espansione nel passo corrente, l'algoritmo termina quando viene scelto il nodo associato allo stato  $s_5$  per l'espansione:



### Domanda 3

La soluzione individuata è  $s_0 \rightarrow s_3 \rightarrow s_5$ , di costo 10. Queste rappresenta la soluzione ottima. La funzione euristica è ammissibile, poiché per ogni stato  $s_i$  la funzione euristica  $h(s_i)$  è minore, o uguale per gli stati  $s_0$  e  $s_5$ , al costo effettivo del cammino dal nodo  $s_i$  al nodo obiettivo  $s_5$ .