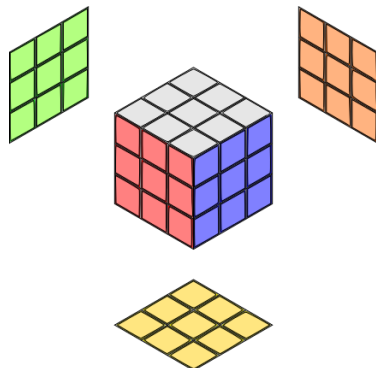


# Il cubo di Rubik (e come risolverlo)

Stefano Angeleri, Alessandro Menti, Mattia Zago

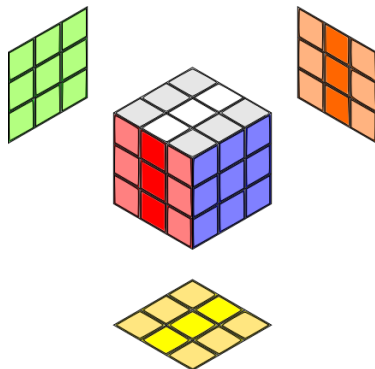
# Alcune definizioni

- ▶ Considereremo un cubo  $3 \times 3$
- ▶ Ogni faccia (*side*) ha un colore standard a essa associato (vedi figura)
- ▶ Ognuno dei nove pezzi di ogni faccia è detto *facelet*
- ▶ Il cubo ha 3 colonne/righe (*columns/rows*), 3 colonne laterali (*lateral columns*), 4 angoli (*corners*) e 8 spigoli (*edges*)



# Alcune definizioni

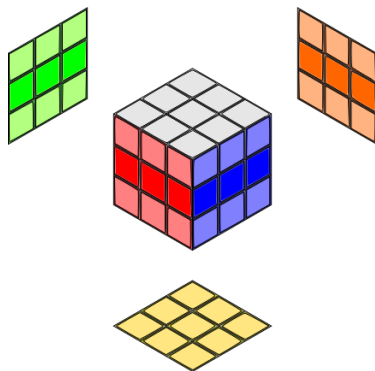
- ▶ Considereremo un cubo  $3 \times 3$
- ▶ Ogni faccia (*side*) ha un colore standard a essa associato (vedi figura)
- ▶ Ognuno dei nove pezzi di ogni faccia è detto *facelet*
- ▶ Il cubo ha 3 colonne/righe (*columns/rows*), 3 colonne laterali (*lateral columns*), 4 angoli (*corners*) e 8 spigoli (*edges*)



Colonna

# Alcune definizioni

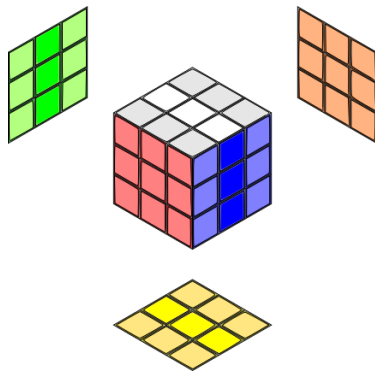
- ▶ Considereremo un cubo  $3 \times 3$
- ▶ Ogni faccia (*side*) ha un colore standard a essa associato (vedi figura)
- ▶ Ognuno dei nove pezzi di ogni faccia è detto *facelet*
- ▶ Il cubo ha 3 colonne/righe (*columns/rows*), 3 colonne laterali (*lateral columns*), 4 angoli (*corners*) e 8 spigoli (*edges*)



Riga

# Alcune definizioni

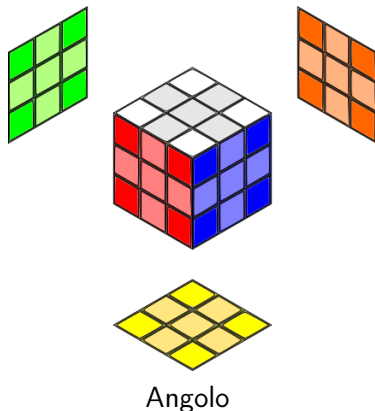
- ▶ Considereremo un cubo  $3 \times 3$
- ▶ Ogni faccia (*side*) ha un colore standard a essa associato (vedi figura)
- ▶ Ognuno dei nove pezzi di ogni faccia è detto *facelet*
- ▶ Il cubo ha 3 colonne/righe (*columns/rows*), 3 colonne laterali (*lateral columns*), 4 angoli (*corners*) e 8 spigoli (*edges*)



Colonna laterale

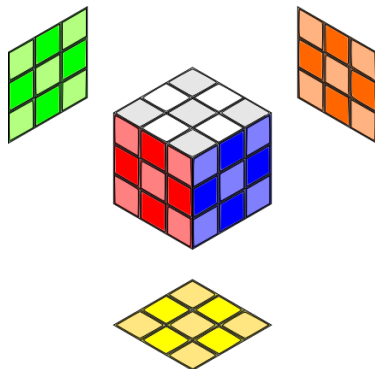
# Alcune definizioni

- ▶ Considereremo un cubo  $3 \times 3$
- ▶ Ogni faccia (*side*) ha un colore standard a essa associato (vedi figura)
- ▶ Ognuno dei nove pezzi di ogni faccia è detto *facelet*
- ▶ Il cubo ha 3 colonne/righe (*columns/rows*), 3 colonne laterali (*lateral columns*), 4 angoli (*corners*) e 8 spigoli (*edges*)



# Alcune definizioni

- ▶ Considereremo un cubo  $3 \times 3$
- ▶ Ogni faccia (*side*) ha un colore standard a essa associato (vedi figura)
- ▶ Ognuno dei nove pezzi di ogni faccia è detto *facelet*
- ▶ Il cubo ha 3 colonne/righe (*columns/rows*), 3 colonne laterali (*lateral columns*), 4 angoli (*corners*) e 8 spigoli (*edges*)



Spigolo

# Il problema

Riarrangia il cubo (ruotando righe, colonne e/o colonne laterali) finché tutte le facelet su ogni faccia non hanno lo stesso colore.



# Notazione di Singmaster

- ▶ Ogni faccia è descritta da una lettera: **F** (Front), **B** (Back), **U** (Up), **D** (Down), **L** (Left), **R** (Right)
- ▶ Ogni mossa può essere vista come una rotazione di un quarto di giro di una faccia in senso orario (N.B.: si assume che il solutore abbia la faccia di fronte a sé): **U** = ruota la faccia “Up” di un quarto di giro in senso orario
- ▶ Il simbolo ' indica una rotazione in senso antiorario
- ▶ Le rotazioni di righe/colonne/colonne laterali centrali sono denotate da **M** (livello fra L e R), **E** (livello fra U e D), **S** (livello fra F e B)

# Notazione di Singmaster

- Per denotare le rotazioni del cubo si usano altre lettere: **X** (rotazione su R), **Y** (rotazione su U), **Z** (rotazione su F)

# Notazione di Singmaster



F



F'



B



B'



U



U'



D



D'



L



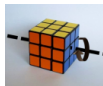
L'



R



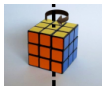
R'



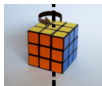
X



X'



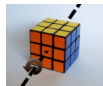
Y



Y'



Z



Z'

# Il nostro modello

- ▶ Il cubo è memorizzato in un oggetto `RubikCubeModel`
- ▶ Ogni faccia è memorizzata in un array  $2 \times 2$ ; le righe/colonne sono numerate dall'alto verso il basso e da sinistra a destra (supponendo che il solutore abbia la faccia di fronte)
- ▶ `getSide` determina la faccia che in tale momento ha il colore dato
- ▶ `getFace` recupera il colore di una facelet
- ▶ Altri metodi autoesplicativi: `get3DEdge` (per gli angoli), `get3DEdgeFacelet` (facelet di un angolo), `getCorner`, `getCornerFacelet`
- ▶ Metodi `rotate*` per ruotare il cubo
- ▶ Test standard: `isInStandardConfiguration`, `isWithSaneColors`, `isSolved`, `isCornerInPlace`, `isCornerInPlaceMaybeFlipped`, `isEdgeInPlace`, `isEdgeInPlaceMaybeFlipped`

# Mosse di Singmaster

- ▶ Sono state implementate le mosse standard di Singmaster
- ▶ Ogni mossa (per motivi di astrazione) è una sottoclasse di `Move`
- ▶ Il costruttore accetta come parametri il modello del cubo (in modo che il cubo originale rimanga inalterato) e un parametro `reversed` (per sapere se la mossa è diretta o inversa)
- ▶ Per applicare una mossa, basta crearla e chiamare `perform/reverse`:

```
(new B(m, reversed)).perform();
```

- ▶ Ogni mossa genera un evento per comunicare i cambiamenti all'interfaccia

# Strategie di risoluzione

- ▶ Sono sottoclassi di `ResolutionStrategy`
- ▶ Accettano un cubo (`RubikCubeModel`) e restituiscono una lista di mosse da eseguire per risolvere il problema (`getNextMoves`)

# Pathfinding

- ▶ Possiamo rappresentare i possibili svolgimenti di una partita con un grafo i cui nodi sono la configurazione del cubo in un dato momento; due nodi sono collegati se e solo se ci si può recare da una configurazione a un'altra con una sola mossa
- ▶ L'idea alla base della maggior parte degli algoritmi di risoluzione del cubo è quella di trovare un cammino su tale albero avente origine nella radice (configurazione iniziale) e termini nel cubo risolto

- ▶ Mantengo due liste: una (*open list*) che contiene i nodi ancora da valutare, un'altra (*closed list*) per i nodi già valutati
- ▶ Fisso una funzione *costo* per ogni nodo: esso deve essere, intuitivamente, tanto minore quanto minore è il “disordine” rispetto al cubo risolto
- ▶ Calcolo per ogni nodo un indice

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

dove  $g(n)$  è il costo minimo dei nodi nella closed list e  $h(n)$  è una stima del costo del nodo  $n$

- ▶ A ogni passo sposto il nodo considerato dalla open alla closed list (ad eccezione del caso in cui  $g(n)$  diminuisca) e genero i suoi successori (tenendo traccia di tale legame)
- ▶ Al termine, estraendo il nodo con il minimo  $f(n)$  e seguendo i genitori ho la sequenza di mosse cercata (al contrario)



- ▶ A\* ha un difetto: richiede di esplorare tutto l'albero
- ▶ Non fattibile per il cubo di Rubik (x configurazioni possibili!)
- ▶ Basta non analizzare i rami per cui non crediamo di ottenere risultati
- ▶ IDA\* fa questo: per ogni nodo, se  $f(n)$  è maggiore di un certo valore limite che fissiamo, pota il ramo

# Fissare un'euristica

Rimane solo un problema: fissare un'euristica  $h(n)$  sufficientemente buona per i nostri scopi

# L'algoritmo di Thistlethwaite

- ▶ Thistlethwaite nel 1980 scoprì che era possibile dividere le mosse in quattro gruppi:

12

- ▶ Si noti che ogni gruppo è chiaramente incluso nel precedente e che l'ultimo gruppo comprende il cubo risolto
- ▶ Idea: portare il cubo da una configurazione risolubile con tutte le mosse possibili (primo gruppo) in una risolubile solamente con mosse appartenenti al secondo gruppo, quindi al terzo. . .
- ▶ Esaminando le configurazioni possibili si può ricavare un buon coefficiente euristico FIXME cosa pesa di più?

# L'algoritmo a due fasi di Kociemba

# L'algoritmo di Singmaster