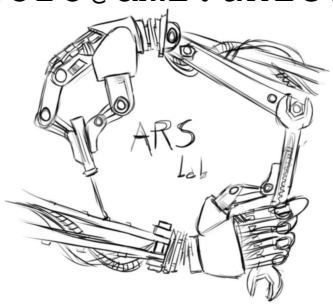
Navigazione
Path Planning e Obstacle Avoidance

Corrado Santoro

ARSLAB - Autonomous and Robotic Systems Laboratory
Dipartimento di Matematica e Informatica - Università di Catania, Italy
santoro@dmi.unict.it



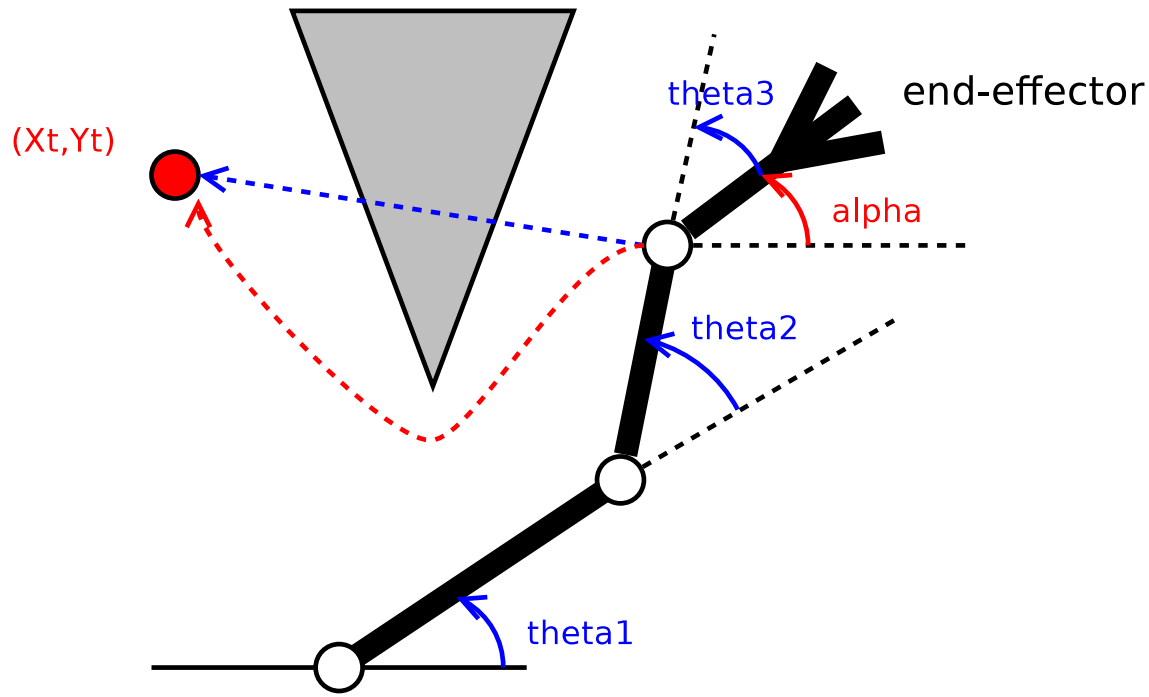
Programmazione Sistemi Robotici

Cinematica, Posizione, Controllo

- Ogni sistema robotico è caratterizzato da un proprio **modello cinematico**
- Tale modello, che si utilizza per poter effettuare il **controllo in posizione**, prevede l'uso di
  - **grandezze controllabili**, es. velocità delle ruote, posizione dei giunti, etc.
  - **grandezze di lavoro**, cioè le variabili del sistema di riferimento "principale"
- Non si tiene tuttavia conto della **reale composizione dell'ambiente** e degli eventuali vincoli fisici che esso pone al movimento del sistema robotico

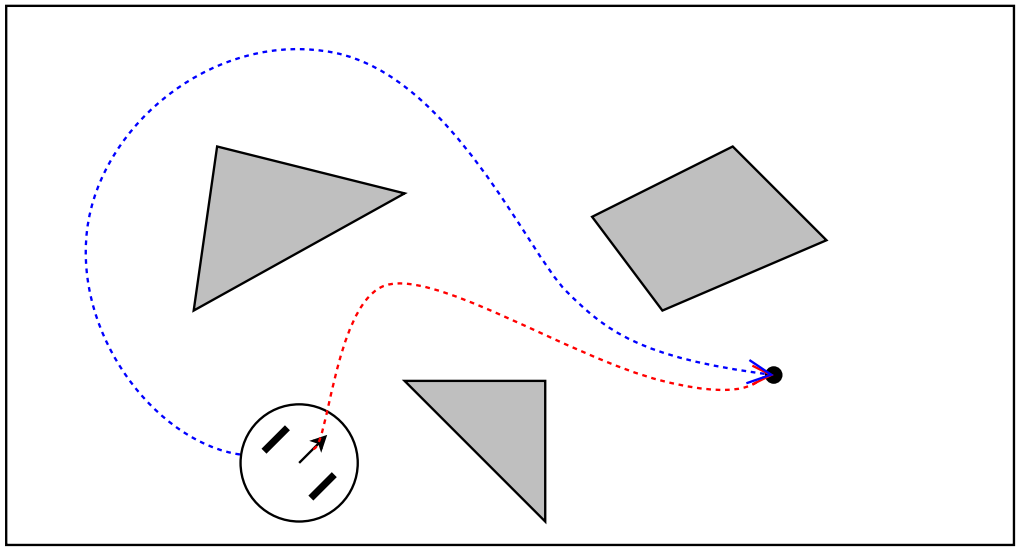
Ambiente e Vincoli

- Nel manipolatore planare in figura, il punto (X_t, Y_t) non è raggiungibile direttamente con un percorso rettilineo **(percorso blu)** a causa della presenza dell'ostacolo
- Il **percorso rosso** consentirebbe di superare l'ostacolo e raggiungere la posizione
- Tuttavia, il percorso rosso, non essendo geometricamente "rettilineo", andrebbe opportunamente **pianificato**

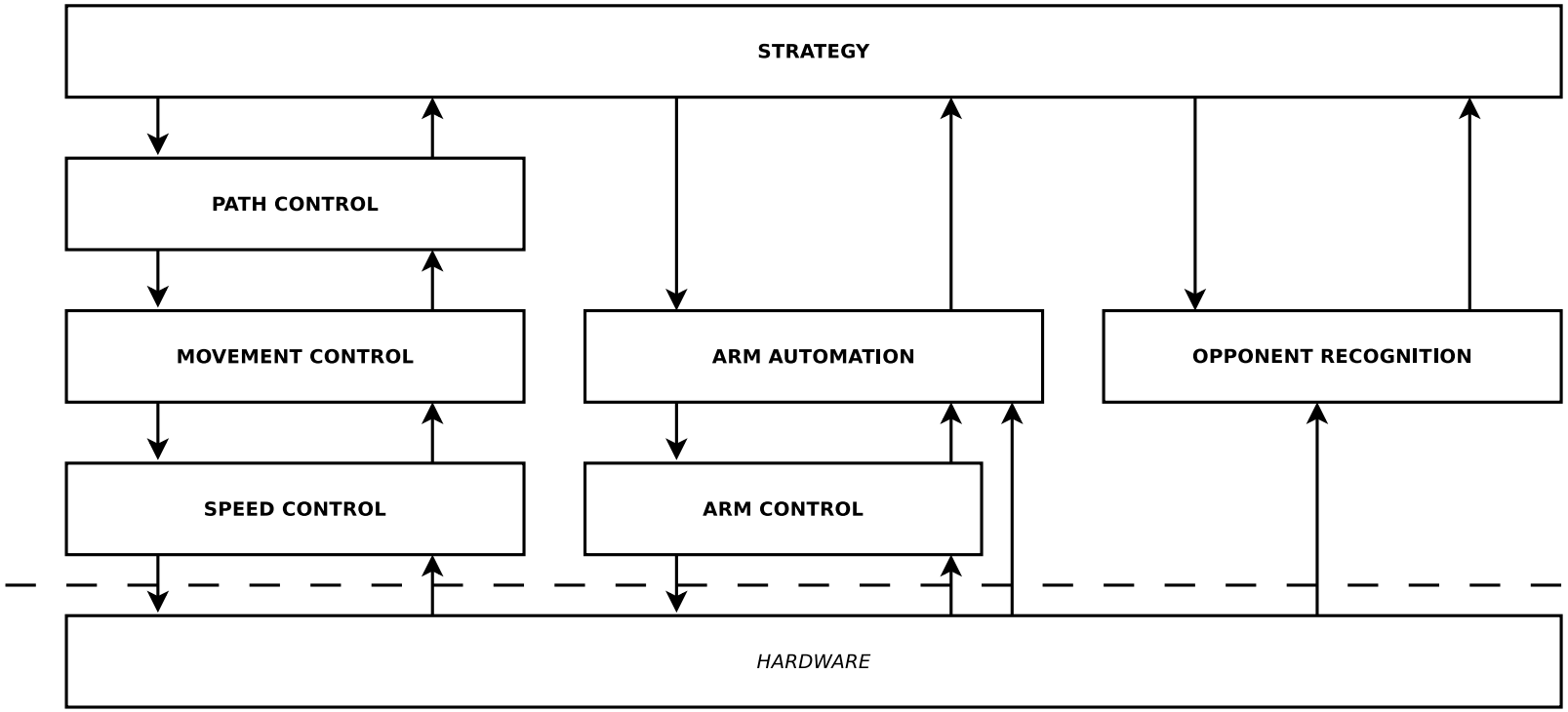


Ambiente e Vincoli

- Nel modello di robot mobile in figura, il punto di destinazione non è raggiungibile direttamente con un percorso rettilineo
- Tuttavia possono esistere svariati percorsi (due dei quali rappresentati in figura) che consentono al robot di raggiungere la posizione
- Stabilire il percorso è compito di un opportuno algoritmo di **path planning**



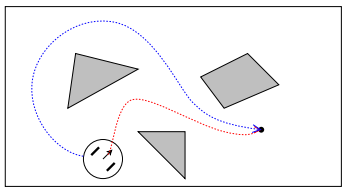
Path Planning e Layer Software



Path Planning

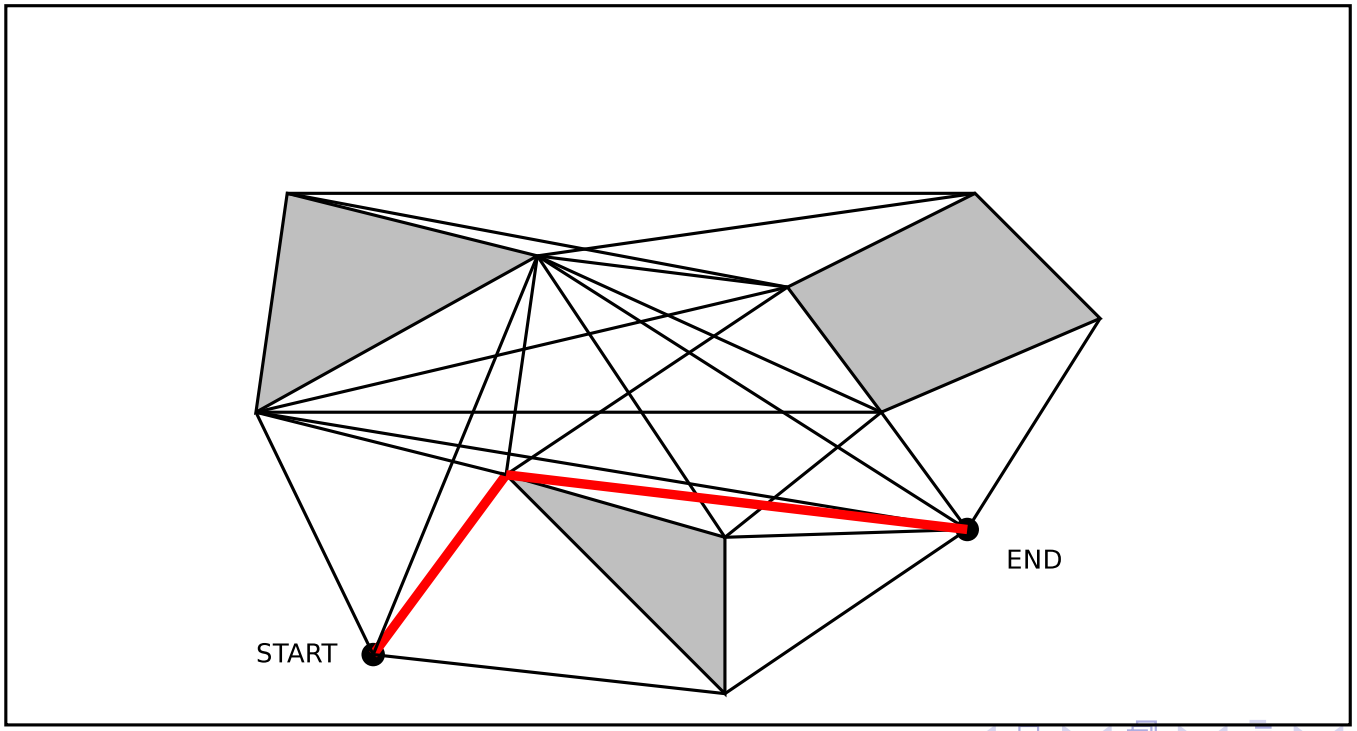
Path Planning: cosa serve

- **Modello dell'ambiente**: l'ambiente dove opera il robot, con le sue caratteristiche geometriche e con i suoi vincoli deve essere opportunamente modellato nel software; un qualunque percorso pianificato deve trovarsi sempre **dentro l'ambiente** e **non deve intersecarsi** con i vincoli
- **Modello del robot**: il robot non può essere trattato come "oggetto puntiforme", ma la sua natura fisica e se le sue dimensioni devono essere tenute in conto nella pianificazione della traiettoria; questa deve poter essere seguita senza che il **robot possa intersecarsi** con i vincoli
- **Scelta della traiettoria**: occorre adottare una opportuna metodologia per la derivazione e la scelta della traiettoria, considerando opportuni parametri quali **distanza minima** o altro.



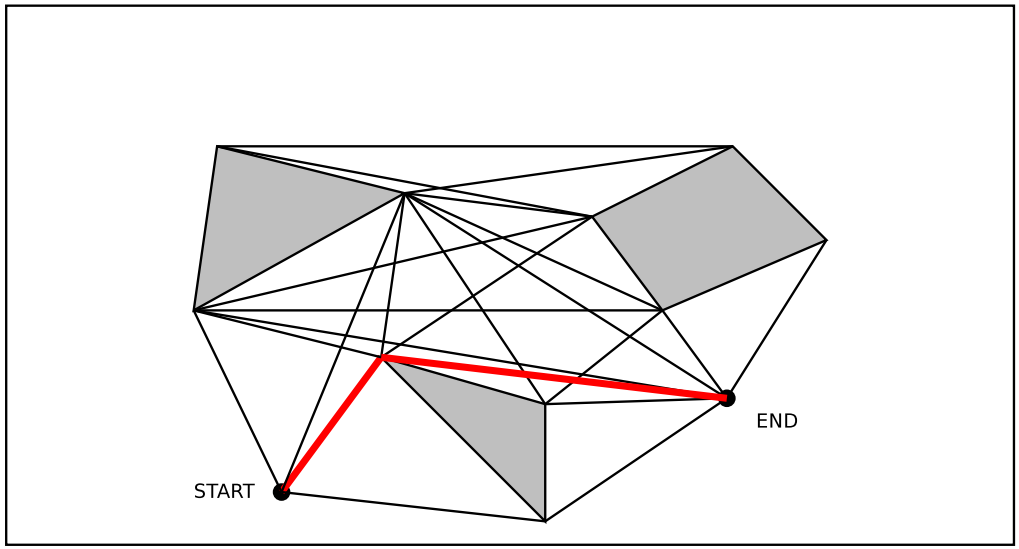
Visibility Graph

- Questo metodo consiste nel modellare un **grafo** che rappresenta la **visibilità** di tutti i vertici delle geometrie dei vincoli presenti nell'ambiente
- Ogni **vertice geometrico** (inclusi i punti di START ed END) sono modellati con un **vertice nel grafo**
- Due vertici vengono collegati con un "edge" se essi sono **visibili**
- Sul grafo risultante, che include START ed END, viene avviato l'algoritmo di Dijkstra per il calcolo del percorso minimo



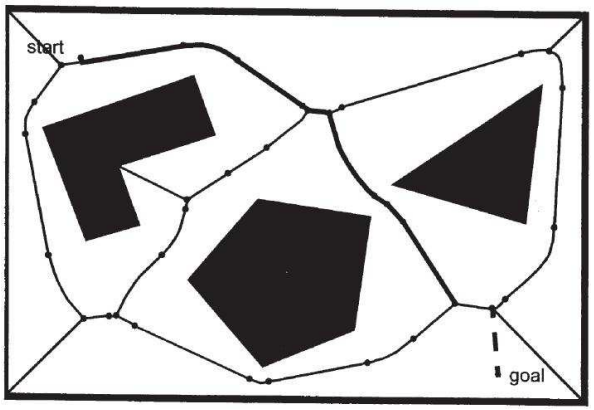
Visibility Graph

- **Vantaggi:** E' semplice ed efficiente da implementare
- **Svantaggi:**
  - I vincoli geometrici vanno "ingrossati" per tenere conto delle dimensioni del robot
  - Il path risultante passa "troppo vicino" ai vincoli (non è *safe*)
  - Se l'ambiente è denso di ostacoli, la complessità del grafo aumenta enormemente



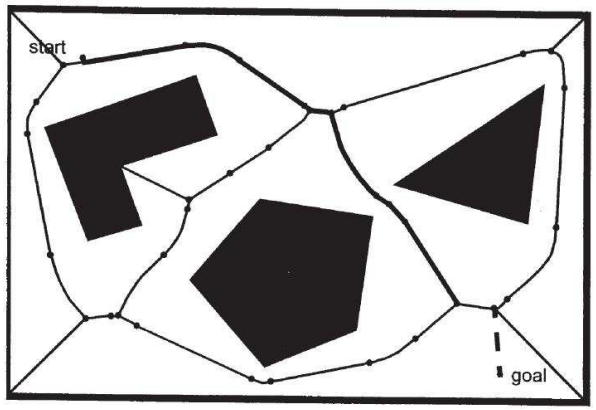
Voronoi Diagrams

- I **diagrammi di Voronoi** sono definiti come il luogo geometrico dei punti che hanno distanza massima dagli ostacoli
- Essi si costruiscono usando un approccio tridimensionale:
  - Per ogni punto dello spazio di navigazione si determina la sua distanza dal vincolo più vicino
  - Tale distanza viene rappresentata come un'**altezza** nello spazio bidimensionale
  - I punti equidistanti da uno o più ostacoli formeranno un picco (massimo)
  - Si uniscono tutti i picchi tra loro: le geometrie risultanti sono le possibili "strade" che il robot può percorrere.



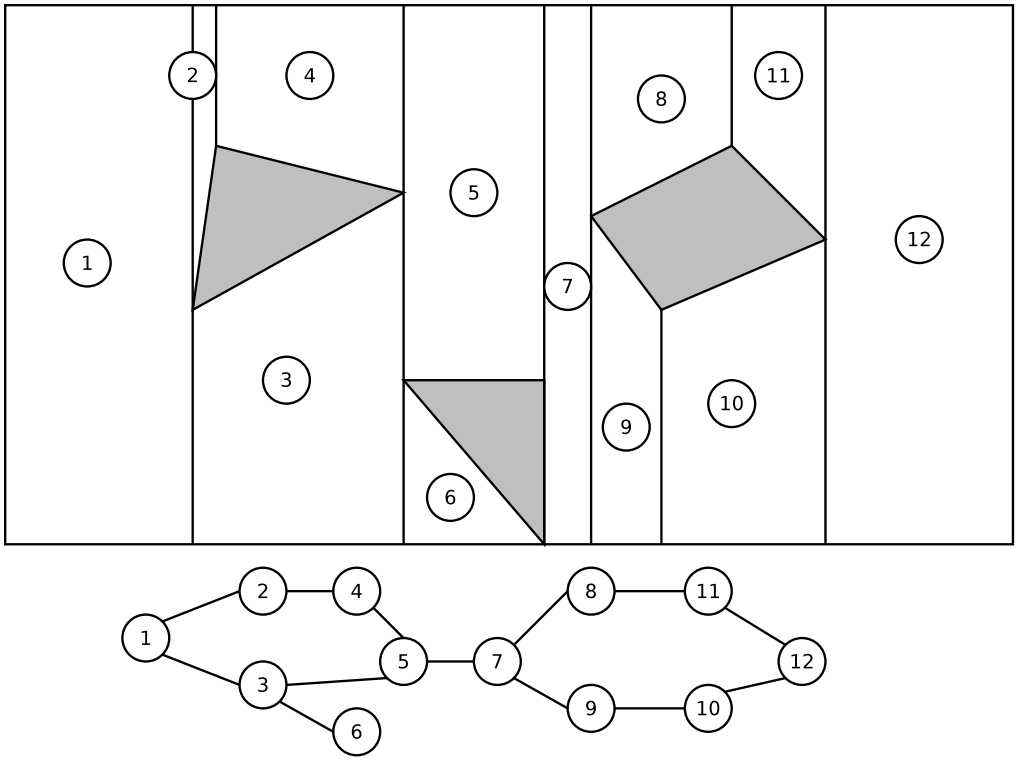
Voronoi Diagrams

- **Vantaggi:**
  - I possibili path sono minori e più efficienti rispetto al grafo di visibilità
  - La navigazione è “safe” in quanto avviene sempre nei punti di maggiore distanza rispetto agli ostacoli.
- **Svantaggi:**
  - La determinazione del diagramma è una procedura molto complessa (dal punto di vista computazionale), tuttavia essa viene avviata solo nella fase iniziale di costruzione



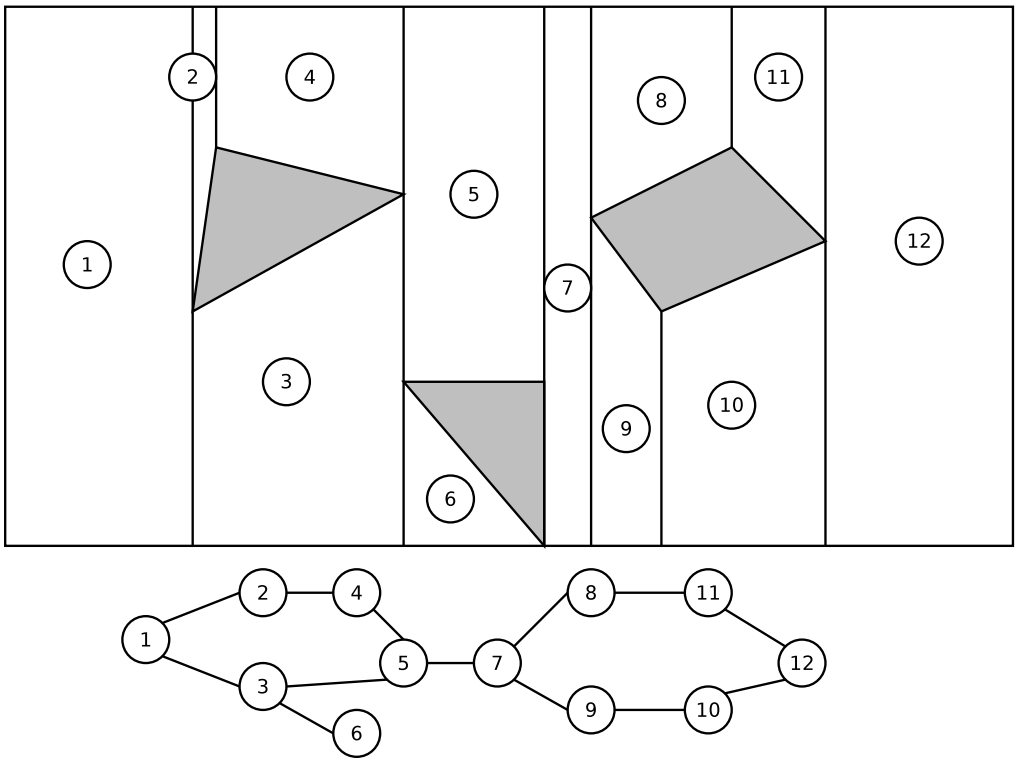
Cell Decomposition

- Si suddivide l'intera regione navigabile in un insieme di **celle**
- Per ogni cella si identifica un **punto di navigazione**
- Si costruisce un **grafo** in cui le celle sono rappresentate dai nodi e gli edge rappresentano il fatto che due celle siano confinanti
- Si fa girare l'algoritmo di Dijkstra per determinare il percorso minimo



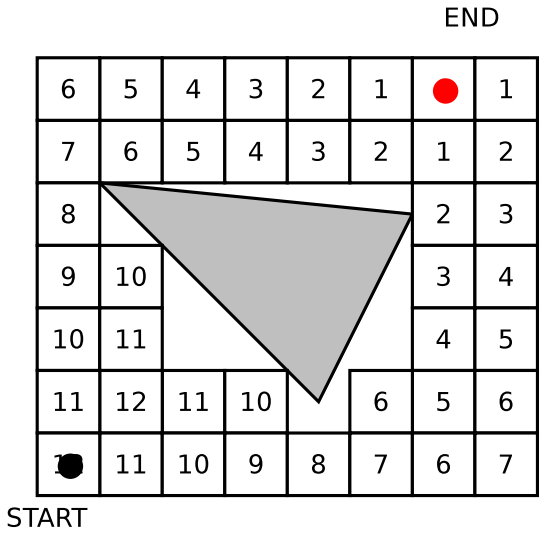
Cell Decomposition

- L'algoritmo è facilmente implementabile ed è abbastanza efficiente
- Le sue caratteristiche dipendono fortemente da come sono suddivise le celle:
  -
  - Più celle $\Rightarrow$ path più efficiente
  - Meno celle $\Rightarrow$ algoritmo più veloce



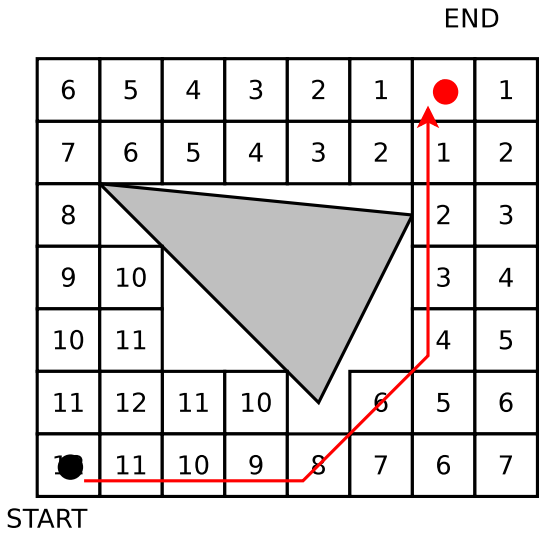
Fixed Cell Decomposition: NF1

- Si suddivide l'intera regione navigabile in un insieme di **celle di dimensioni fisse**
- Ogni cella è caratterizzata da una **marca numerica**
- Per ogni cella il **punto di navigazione** è il suo **centro**
- Si parte dal punto di arrivo (END), che si marca con il **valore "0"**
- Ogni cella adiacente si marca con un valore **incrementato di 1**
- Si procede fino a marcare **tutte le celle**



Fixed Cell Decomposition: NF1

- Per determinare il percorso, si parte dal punto di START e si sceglie la **cella adiacente con il valore di marca minore**
- Si procede fino ad arrivare al punto di END



Potential Field

- Si modella lo spazio di navigazione come pervaso da un **campo di potenziale** composto da:
  - **Forze attrattive verso il target**
  - **Forze repulsive** che allontanano dai vincoli
- Il **potenziale** di un punto $q = (x, y)$ é definito come $U(q) = U_{att}(q) + U_{rep}(q)$
- Il **vettore di moto** di un punto $q = (x, y)$ corrisponde alla **forza** generata dal potenziale $F(q) = -\nabla U_{att}(q) - \nabla U_{rep}(q)$
- dove il simbolo ∇ corrisponde all'operatore gradiente:

$$\nabla U(q) = \begin{bmatrix} \frac{\partial U}{\partial x} \\ \frac{\partial U}{\partial y} \end{bmatrix}$$

Potential Field

- Se q_{goal} è il **punto target**, la forza attrattiva può essere modellata come:

$$F_{att}(q) = -k_{att}(q - q_{goal})$$

dove k_{att} è uno scalare che agisce da "peso"

- la forza repulsiva può essere invece espressa come:

$$F_{rep}(q) = \begin{cases} k_{rep}\left(\frac{1}{\rho(q)} - \frac{1}{\rho_0}\right)\frac{1}{\rho^2(q)}\frac{q - q_{obstacle}}{\rho(q)} & se \ \rho(q) \leq \rho_0 \\ 0 & se \ \rho(q) > \rho_0 \end{cases}$$

dove

- $q_{obstacle}$ è il punto dell'ostacolo a distanza minima
- $\rho(q)$ è la distanza minima da un ostacolo
- ρ_0 è una soglia di distanza
- k_{rep} è un fattore di peso

Potential Field

- Il metodo consiste nel imporre al robot delle velocità v_x e v_y proporzionali alle componenti della forza risultante.
- Il metodo consente di emulare il moto di una sfera che viene guidata gradualmente verso il punto target “scendendo da una collina” attraverso gli ostacoli; tuttavia ...
- L’algoritmo è fortemente dipendente dai pesi che si assegnano alla forza attrattiva e repulsiva k_{att}, k_{rep}
- L’andamento del gradiente non e’ lineare; man mano che ci si avvicina agli ostacoli il contributo della repulsione diventa molto forte; questo può causare bruschi cambiamenti di velocità
- Nel caso in cui ci siano ostacoli vicini tra loro, il metodo può innescare sgradevoli oscillazioni nel moto
- Il metodo non tiene conto delle caratteristiche di manovrabilità specifiche del robot

Obstacle Avoidance

Obstacle Avoidance

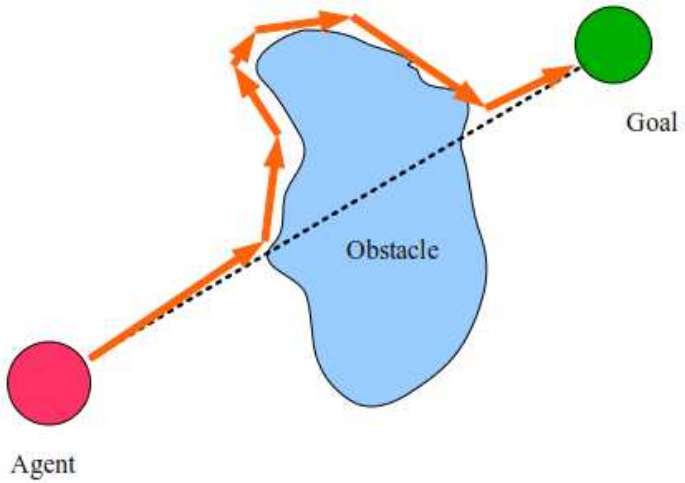
- Il path planning si basa sul fatto che le **caratteristiche dell'ambiente** sono **note**
- Qualora, invece, gli ostacoli **non siano noti** precedentemente, si parla di tecniche di **obstacle avoidance**
- L'obstacle avoidance presuppone che, durante il moto, un ostacolo non previsto possa trovarsi davanti al robot; in tal caso occorre:
  - **identificare la presenza dell'ostacolo**, operazione che si effettua tramite opportuni sensori
  - **evitare l'ostacolo**, operazione che comporta l'uso di opportuni algoritmi

Obstacle Avoidance

- Se le **dimensioni dell'ostacolo** sono **note** (o determinabili a runtime), è possibile adottare uno degli algoritmi di path planning studiati; in tal caso occorre:
  - inserire l'ostacolo nel modello dell'ambiente
  - far girare l'algoritmo
  - se l'ostacolo è **mobile** utilizzare un **decay factor** per "far sparire" l'ostacolo dal punto dopo un po' di tempo

Bug Algorithm

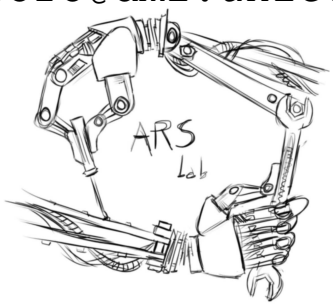
- Se le dimensioni e la geometria dell'ostacolo **non sono note**, uno degli approcci può usati è il **bug algorithm**
- Si basa sulla presenza di un sensore a 360 gradi (sonar, LIDAR, etc.)
- Consiste nel circumnavigare l'ostacolo nella direzione del punto target fino a superarlo



Navigazione
Path Planning e Obstacle Avoidance

Corrado Santoro

ARSLAB - Autonomous and Robotic Systems Laboratory
Dipartimento di Matematica e Informatica - Università di Catania, Italy
santoro@dmi.unict.it



Programmazione Sistemi Robotici