



# PROGETTO E IMPLEMENTAZIONE DI LEGGI DI CONTROLLO DISTRIBUITE PER UN PLOTONE DI VEICOLI AUTONOMI

Marianna Stara

Relatore: Prof. Alessandro Giua  
DIEE, Università degli studi di Cagliari

23 Aprile 2010

# SOMMARIO

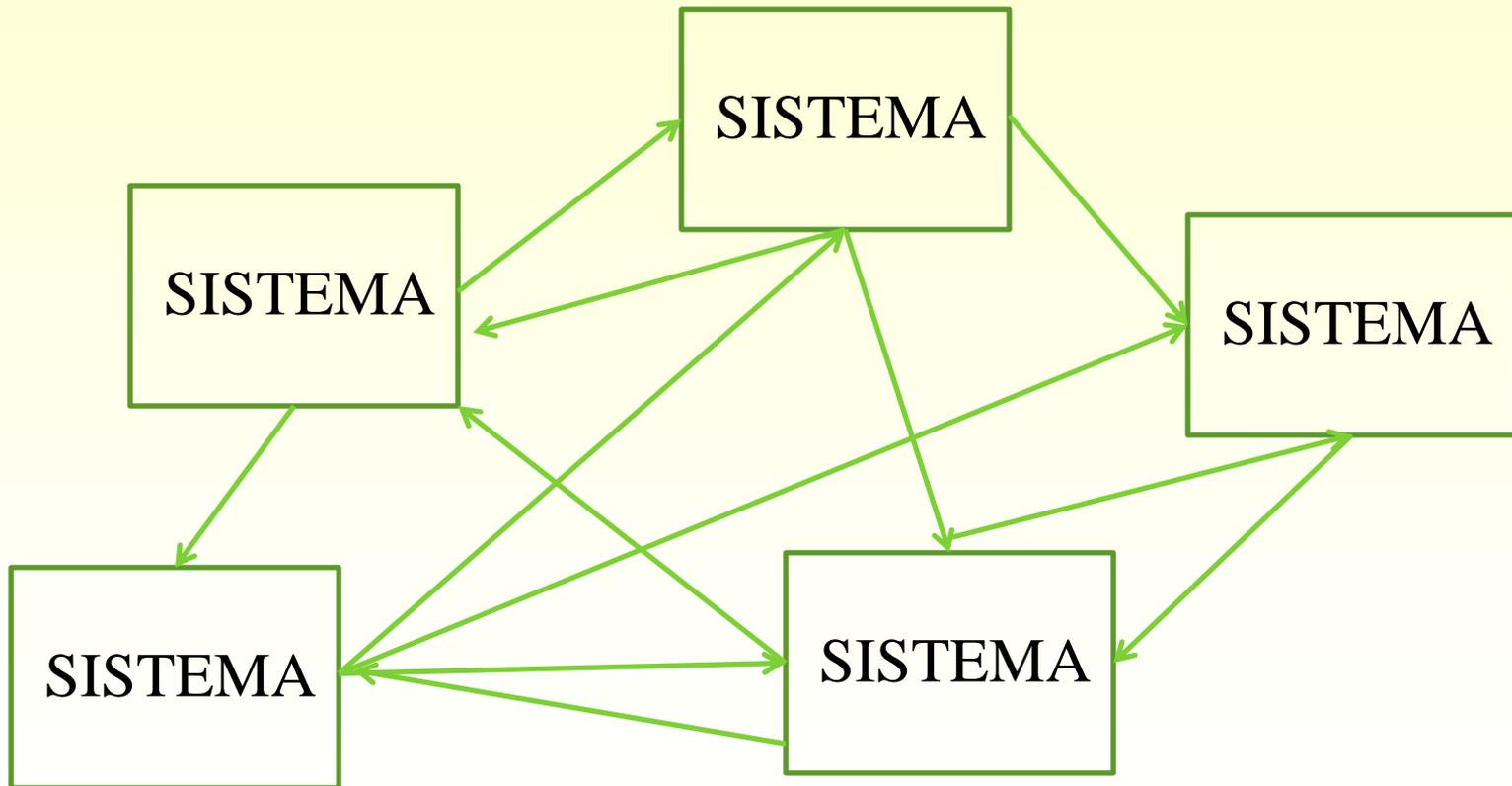
- Introduzione
- Leggi di controllo
- Risultati sperimentali
- Conclusioni

# SOMMARIO

- Introduzione
- Leggi di controllo
- Risultati sperimentali
- Conclusioni

# RICERCA

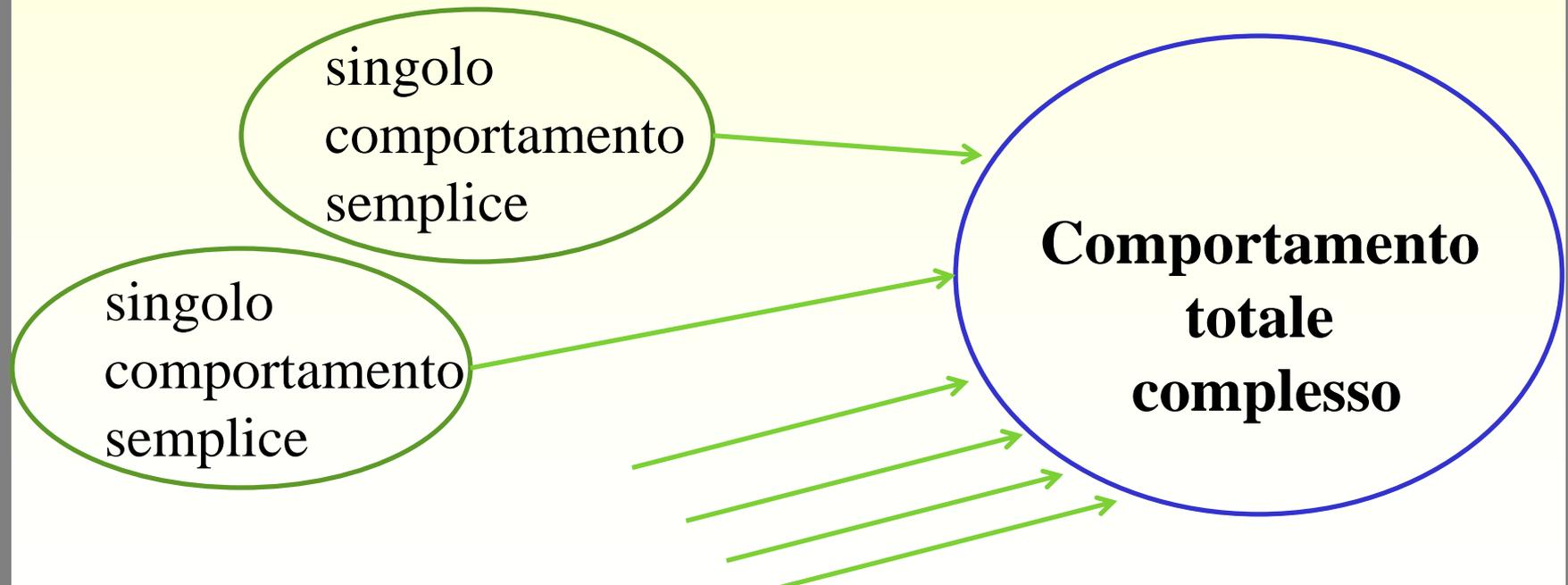
## Networked control system



# COMPORAMENTO EMERGENTE

*Emerging behaviour*

La situazione nella quale un sistema esibisce proprietà sulla base delle leggi che governano le sue componenti.



# OBIETTIVO

Cosa si vuole realizzare?

Un plotone di veicoli che si muove in formazione compatta con le funzionalità:

- **Inseguimento del percorso** desiderato
- **Mantenimento della distanza di sicurezza**
- **Evitare gli ostacoli** lungo il percorso

# LETTERATURA

## Path following

- Lee e Park (*SMC 1999*)  
due comportamenti differenti, nel caso il robot sia o meno nel percorso desiderato
- Lan et al. (*CDC/CCC, 2009*)  
Studio su unicicli che devono posizionarsi in una certa formazione

## Obstacle avoidance

- Benayas et al. (*IFAC, 2002*)  
Propongono un metodo radiale per la ricerca degli ostacoli
- ## Path following e Obstacle avoidance
- Lapierre et al. (*IJRR, 2007*)  
Definiscono una zona virtuale deformabile in cui non è presente l'ostacolo

# I ROBOT

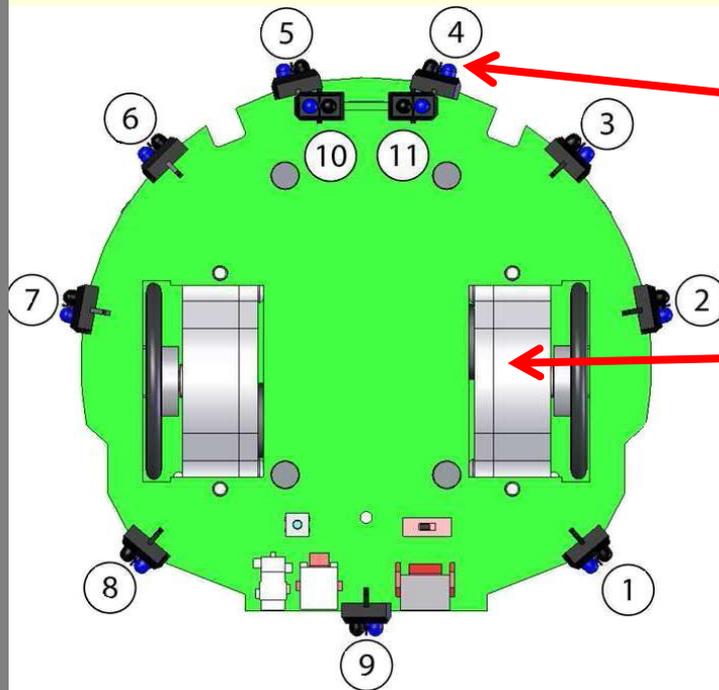
Quali dispositivi?



*Khepera III* della *K-Team*

# I ROBOT

Quali sensori e attuatori?



Sensori a infrarossi

Motore

# SISTEMA IBRIDO

Perchè?

Dinamiche ad avanzamento temporale

Dinamiche ad eventi discreti

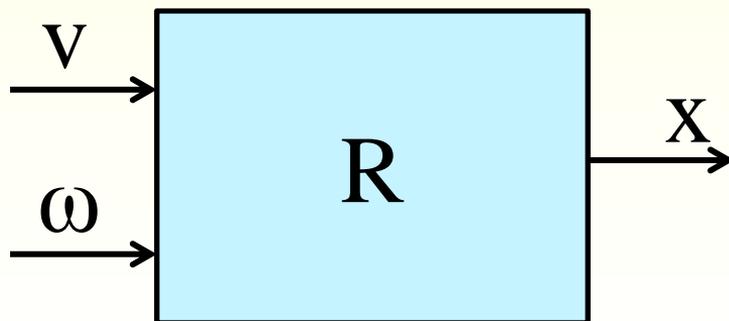
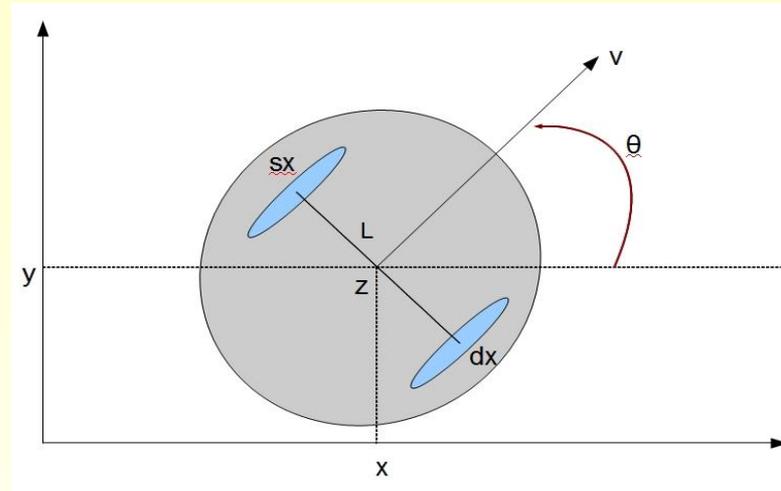
# SOMMARIO

- Introduzione
- Leggi di controllo
- Risultati sperimentali
- Conclusioni

# MODELLO ROBOT

## Hilare-type

$$\begin{cases} v = \frac{V_{dx} + V_{sx}}{2} \\ \omega = \dot{\theta} = \frac{(V_{dx} - V_{sx})}{L} \end{cases}$$



$\omega$  = velocità angolare

$v$  = velocità lineare

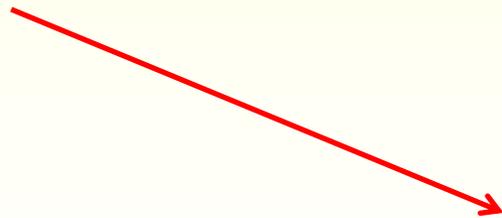
$x$  = posizione

# PERCORSO DESIDERATO

## Dentro il percorso

- Attuare un comportamento che permetta al veicolo di restare all'interno del percorso

- Percorso circolare

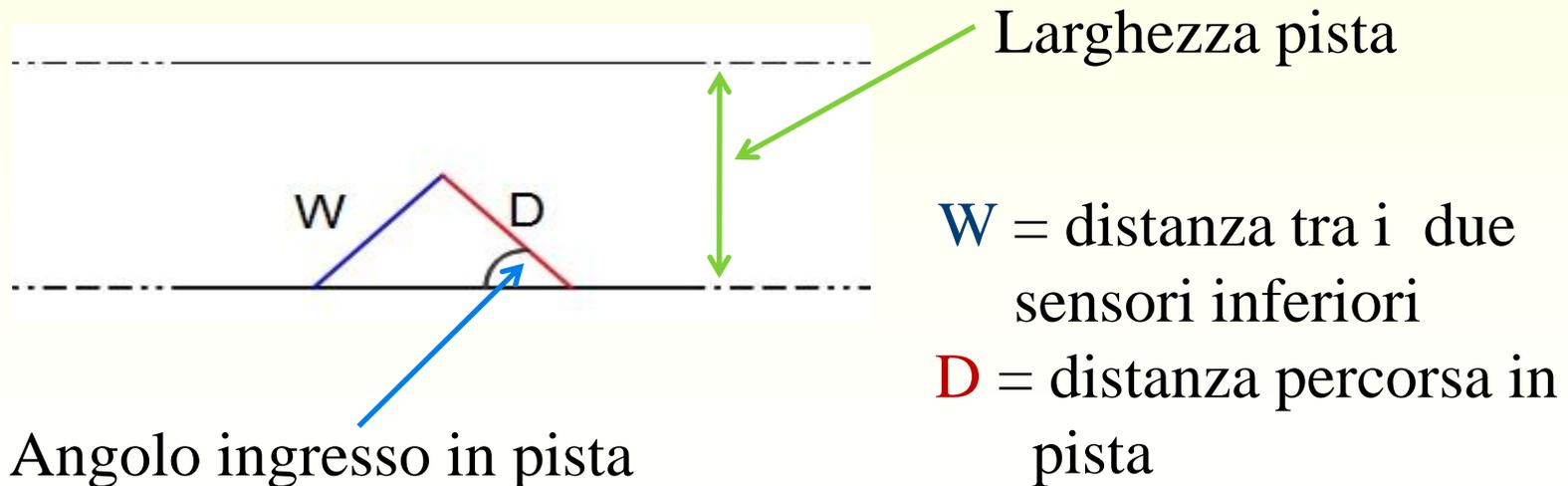


Controllo sulla velocità  
angolare

# PERCORSO DESIDERATO

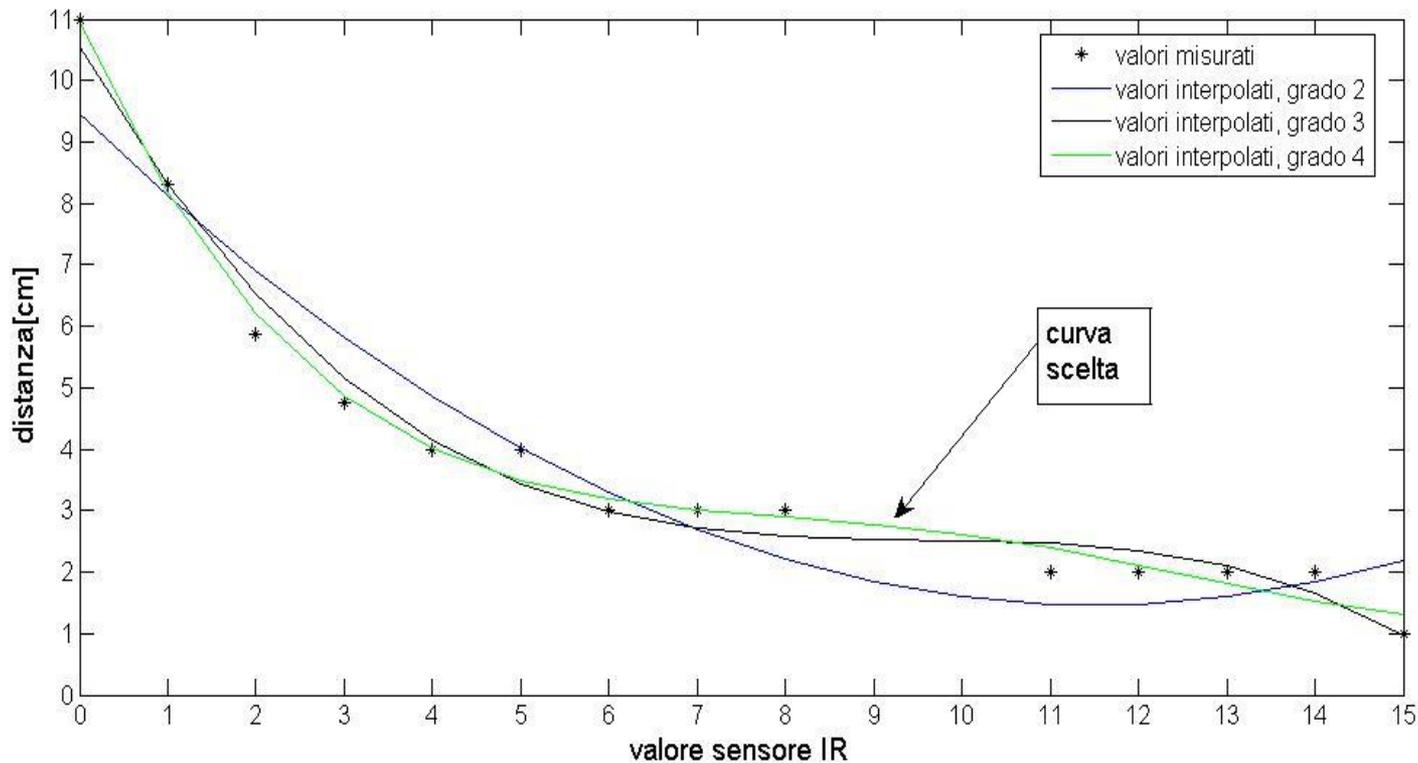
## Fuori dal percorso

- implementazione comportamento **ricerca pista**
- implementazione di un algoritmo per il riposizionamento corretto nel percorso



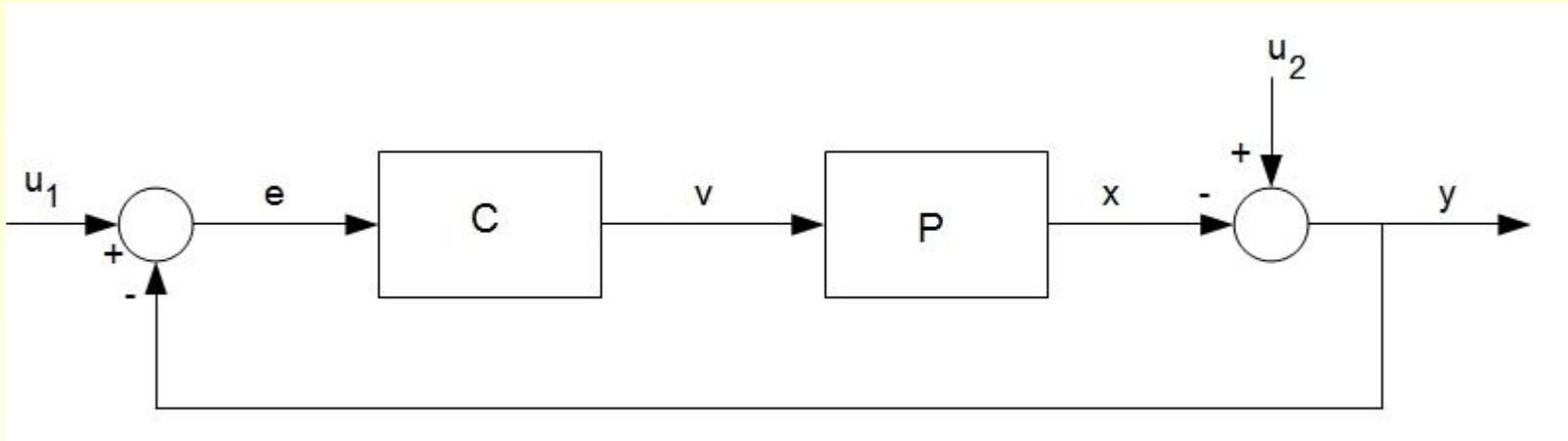
# DISTANZA DI INSEGUIMENTO

Come **misurare una distanza** coi sensori infrarossi?



# DISTANZA DI INSEGUIMENTO

Che controllo usare?



$u_1$  = set-point (distanza desiderata)

$u_2$  = posizione veicolo precedente

$x$  = posizione veicolo del modello

$y = u_2 - x$  (distanza misurata)

$e = u_1 - y$

$v$  = velocità

Controllore proporzionale

Errore a regime di 3 mm

# DISTANZA DI INSEGUIMENTO

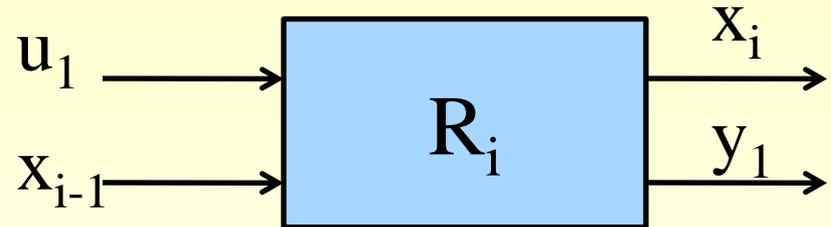
Un veicolo  $i$ :

$u_1$  = set - point

$x_{i-1}$  = posizione veicolo  $i-1$

$x_i$  = posizione veicolo  $i$

$y_1$  = distanza tra i veicoli  $i$  e  $i-1$

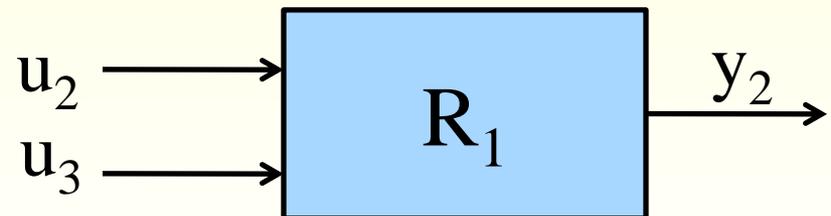


Il leader:

$u_2$  = distanza misurata (valore di fondoscala)

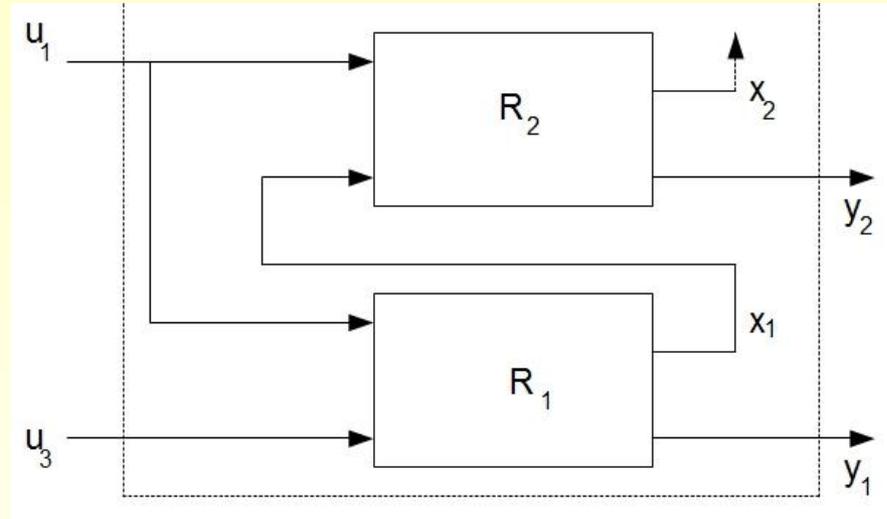
$u_3$  = velocità del leader

$y_2 = u_2$



# DISTANZA DI INSEGUIMENTO

## IL PLOTONE



$$\begin{cases} \dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ K & -K & 0 & 0 \\ 0 & K & -K & 0 \\ 0 & 0 & K & -K \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -K & 0 & 0 \\ -K & 0 & 0 \\ -K & 0 & 0 \end{bmatrix} u \\ y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} u \end{cases}$$

- Sistema stabile

- Leader fermo:

stabilità dei *punti di equilibrio*

- Leader in movimento:

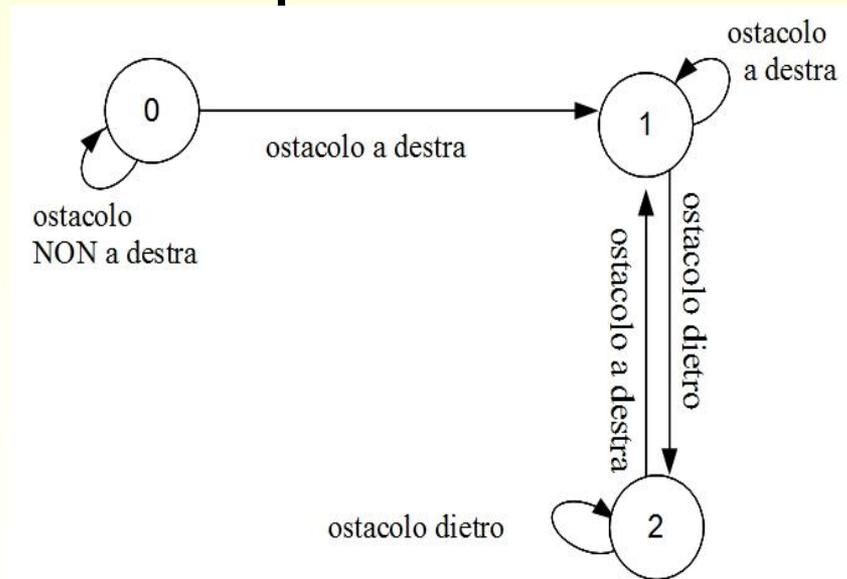
stabilità del *movimento*

# SORPASSO

Quali ostacoli?

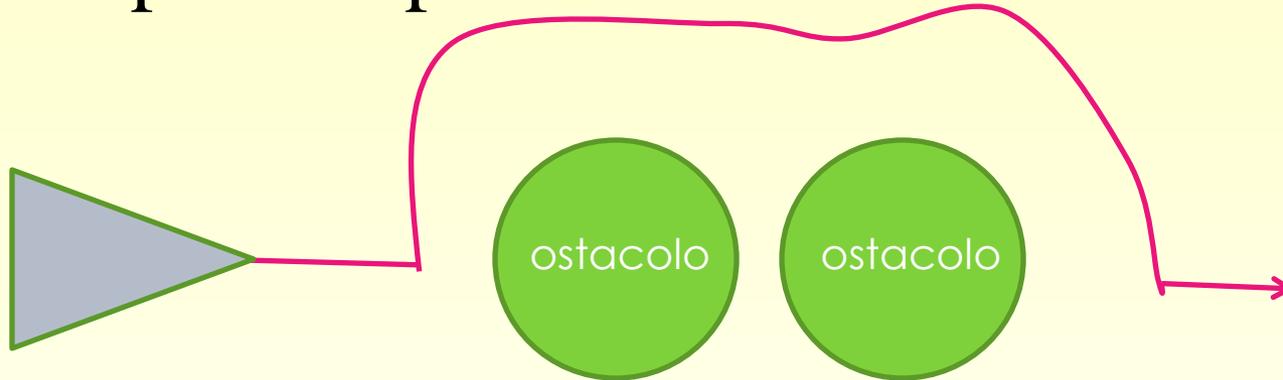
- **Veicoli fermi** a causa di un malfunzionamento
- Presenti **lungo il percorso**

Come sorpassare?



# SORPASSO

Come sorpassare più ostacoli?

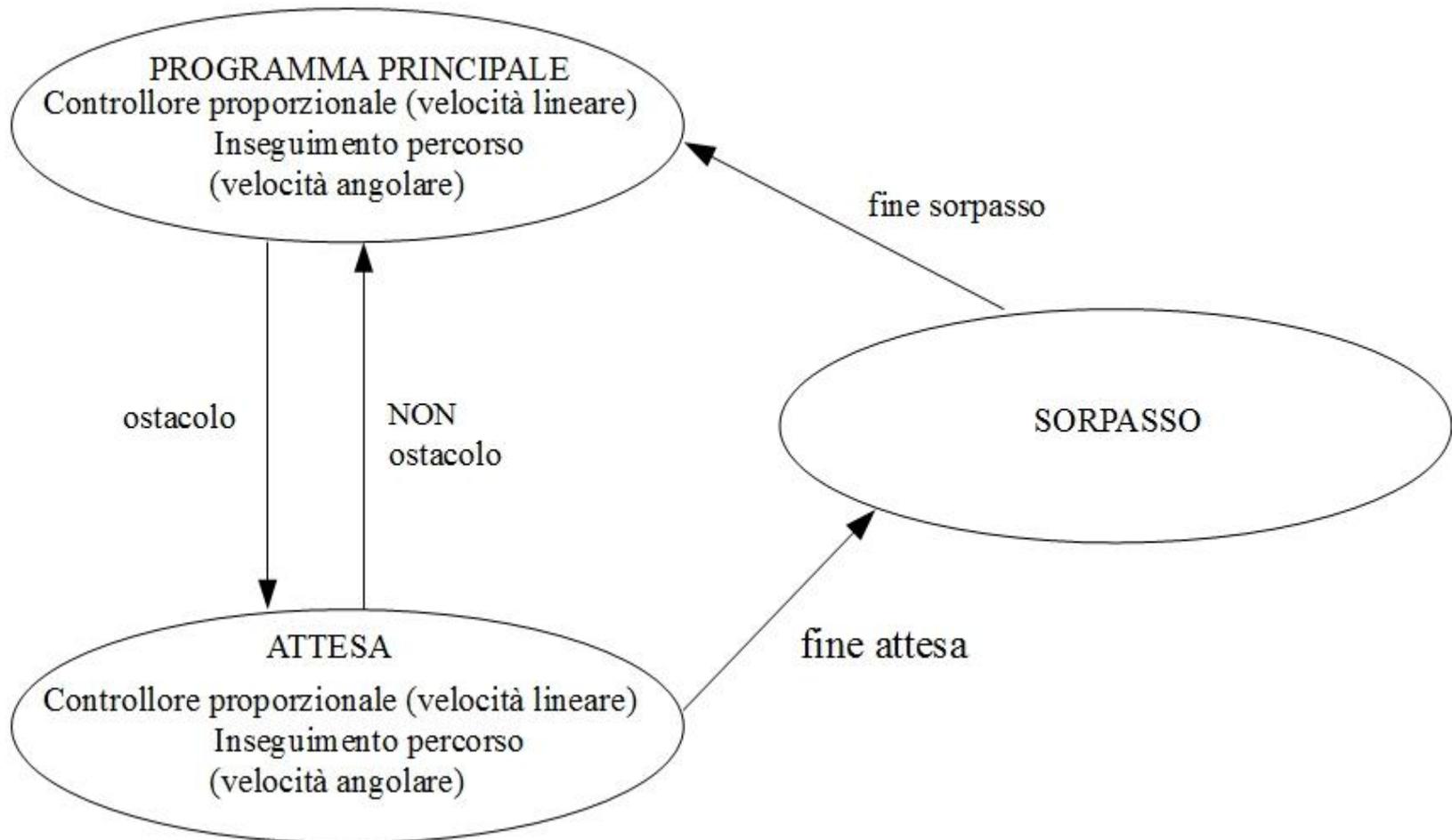


- Non basta verificare che si sia lasciato l'ostacolo a destra
- Controllo dell'intera scena intorno al veicolo

E se il veicolo fermo ricomincia a muoversi?

- Si implementa un algoritmo per la **ricerca della pista**;  
diverso da quello per il percorso desiderato.

# SISTEMA COMPLESSIVO



# PLOTONE

Il veicolo non è solo

Richiede ulteriori funzionalità nell'algoritmo complessivo:

- Ricerca di **altri veicoli** nelle vicinanze;
- Studio della **propria posizione** rispetto al resto del plotone;
- Algoritmo per **evitare scontri** con gli altri veicoli in movimento.

# SOMMARIO

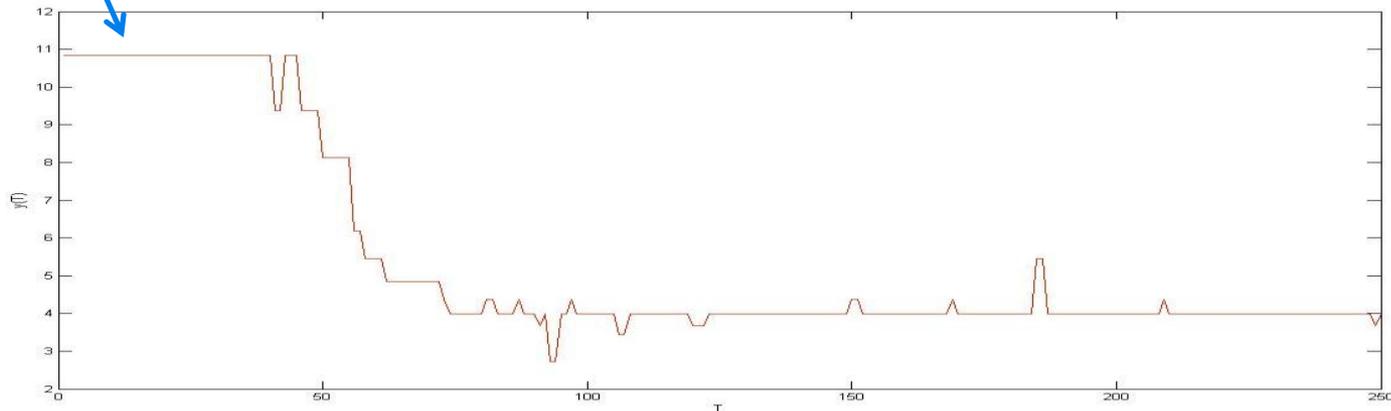
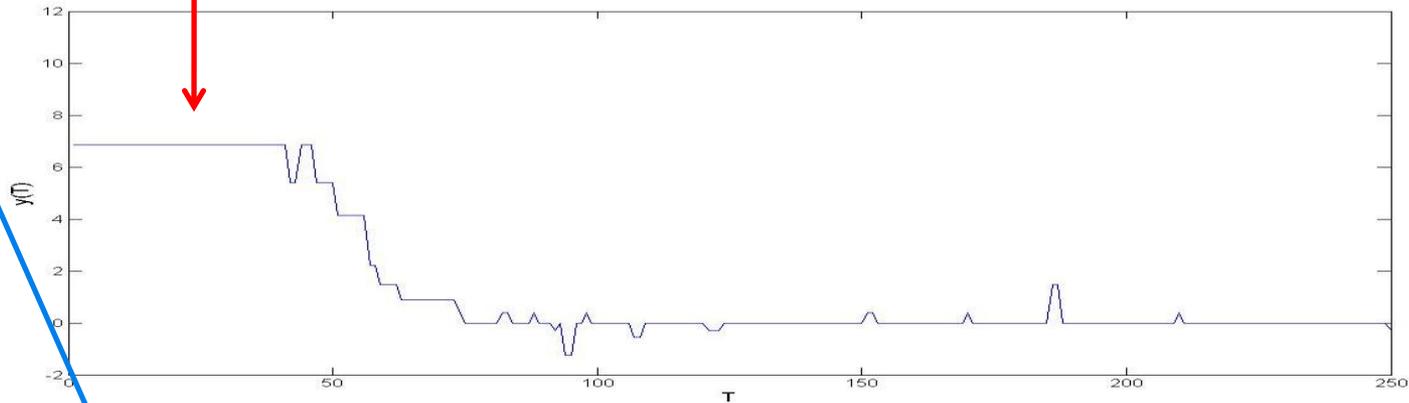
- Introduzione
- Leggi di controllo
- Risultati sperimentali
- Conclusioni

# MOVIMENTO CIRCOLARE E FORMAZIONE DEL PLOTONE



# DISTANZA DI INSEGUIMENTO

Distanza e velocità lineare per un veicolo in moto verso un ostacolo



# SORPASSO DI 3 OSTACOLI

Sorpasserà più di un ostacolo?



# SORPASSO DEL PLOTONE

Il plotone aggirerà l'ostacolo?



# SOMMARIO

- Introduzione
- Leggi di controllo
- Risultati sperimentali
- Conclusioni

# CONCLUSIONI

Su tutti i veicoli è stato implementato lo **stesso programma**, con le funzionalità:

- ricerca del percorso e movimento all'interno di esso
- mantenimento della distanza di sicurezza
- aggiramento di ostacoli lungo la pista

Non è presente un controllo centralizzato.

# CONCLUSIONI

## Il plotone (**COMPORAMENTO EMERGENTE**)

- si muove in formazione compatta all'interno del percorso desiderato, mantenendo la distanza di sicurezza
- i veicoli secondo un algoritmo di precedenza sorpassano uno dopo l'altro
- in fase di sorpasso, se ci sono altri veicoli che stanno sorpassando, il veicolo aspetta il suo turno

Si ottiene un'unica entità (**PLOTONE**) che attua dei comportamenti come se ogni veicolo fosse una sua parte e non un sistema indipendente.

# CONTRIBUTI

- Progettazione di un sistema di controllo distribuito
- Implementazione del progetto su un sistema reale, veicoli autonomi
- Manuale per utilizzare il robot per implementare leggi di controllo
- Realizzazione di un insieme di funzioni base utilizzabili per altri progetti

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE!!!!!!

