



# Università del Salento

**Facoltà di Ingegneria**

**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica**

---

Tesi di Laurea in Meccanica del Veicolo

## **STUDIO DI UN SISTEMA DI TRAZIONE INTEGRALE PER UN VEICOLO MOBILE**

Relatore:  
Ing. Giulio REINA

Laureando:  
Luca PARISI

---

A.A. 2010 - 2011



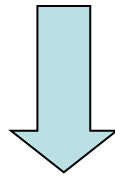
## ***Introduzione/1***

- In questo lavoro di tesi è stato sviluppato un sistema innovativo, di tipo incrociato, denominato *Cross-Coupling Control*
- **Obiettivo**: migliorare l' accuratezza del moto di un veicolo dotato di quattro ruote a trazione e sterzata indipendente, di tipo over-constrained
- L'accuratezza del moto del robot è tanto maggiore quanto le velocità effettive delle ruote coincidono con quelle richieste in base al corretto comportamento cinematico
- Ogni violazione determina slittamento e, di conseguenza, dissipazione di energia ed errori nella stima della posizione del robot
- Un controllo tradizionale è costituito da loop di controllo reciprocamente indipendenti
- Profili di carico differenti agenti sulle ruote del rover determinano transitori differenti durante i quali i motori raggiungono i *setpoint* richiesti in tempi diversi
- L'assenza di dialogo tra i loop del sistema di controllo determina slittamento e un aumento della potenza richiesta per far muovere il robot



## ***Introduzione/2***

Il *Cross-Coupling Control* confronta ad ogni istante le informazioni di tutti i loop di controllo riducendo la velocità dei motori che ruotano più velocemente e aumentando la velocità di quelli che ruotano più lentamente



benefici in termini di accuratezza della traiettoria

minimizza i consumi energetici

aumenta l'autonomia del veicolo



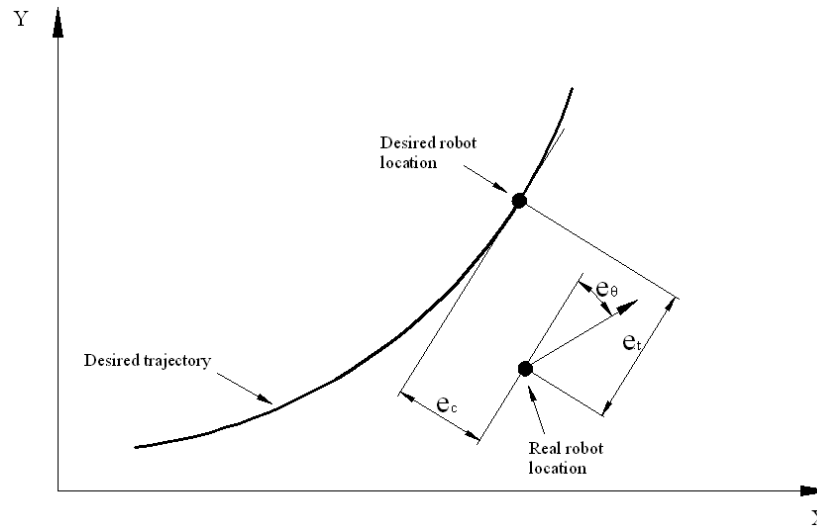
## *Il rover Dune*





## Il Cross-Coupling Control/1

### Errori nella stima della posizione di un robot



$e_\theta$  è l'errore di orientazione ed è definito come la differenza tra la reale orientazione del robot e quella desiderata

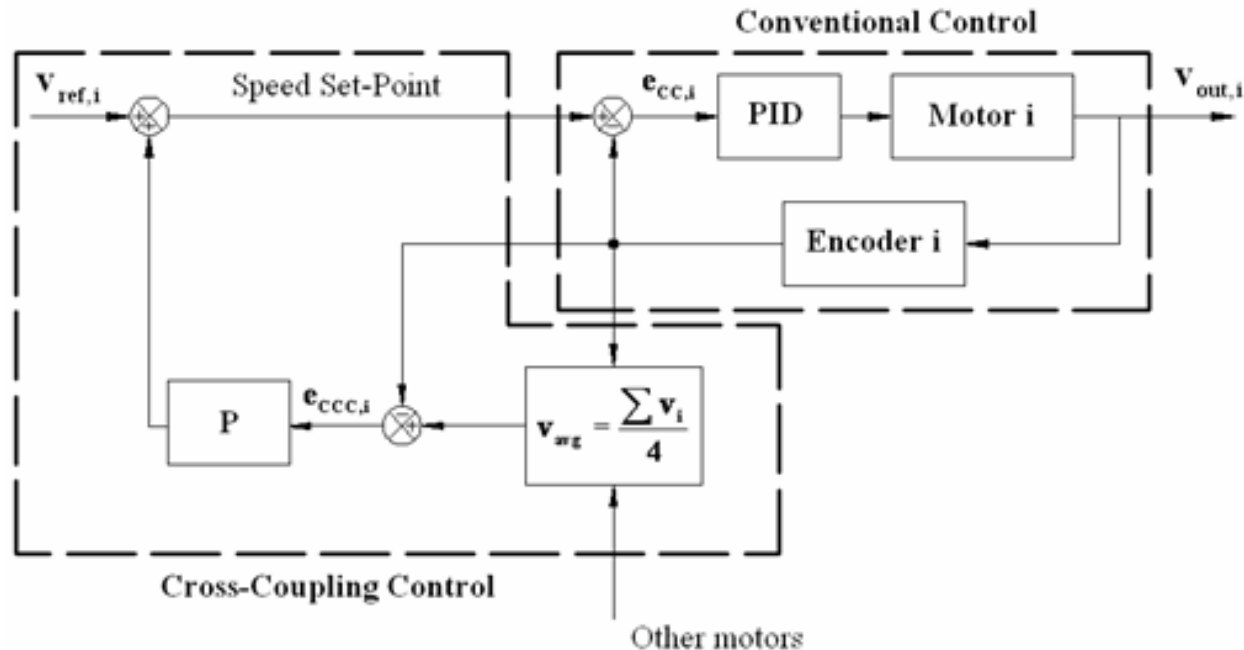
$e_c$  è definito come la distanza tra la posizione attuale del robot e la posizione desiderata del robot in direzione perpendicolare a quella del moto

$e_t$  è definito come la distanza tra la posizione attuale e quella desiderata lungo la direzione del moto



## Il Cross-Coupling Control/2

### Schema a blocchi del CCC in rettilineo



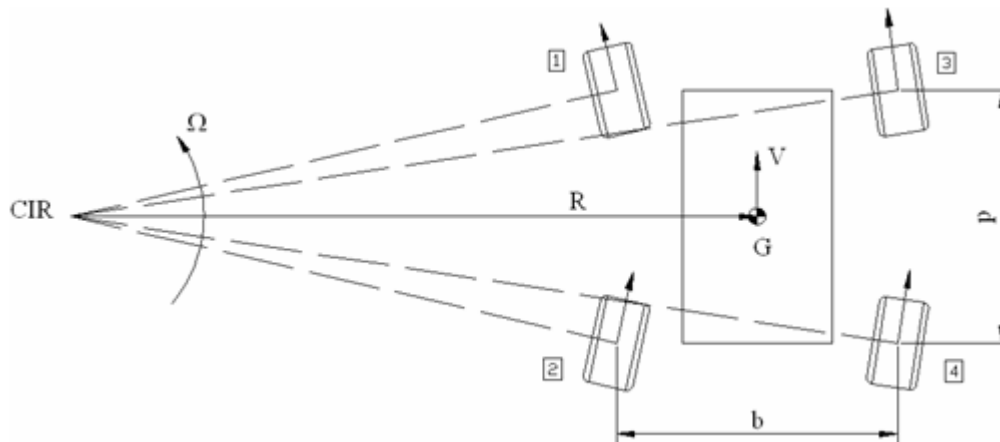
Il *Cross-Coupling Control* riceve in ingresso le velocità lineari delle quattro ruote lette dagli encoder, le confronta con la velocità media e lo scostamento della velocità della ruota  $i$ -esima dal valore medio è utilizzato per determinare il nuovo *setpoint* al fine di ottenere la sincronizzazione delle velocità.



## Il Cross-Coupling Control/3

### Schema a blocchi del CCC in curva (I tipologia)

- Mentre in rettilineo la velocità lineare della ruota attorno al proprio asse deve essere uguale per tutte e quattro le ruote, in curva le ruote esterne ruotano con una velocità angolare maggiore rispetto a quelle interne
- In curva la grandezza che deve rimanere uguale per tutte le ruote è la velocità angolare del rover attorno al centro di istantanea rotazione, essendo il rover schematizzato come corpo rigido



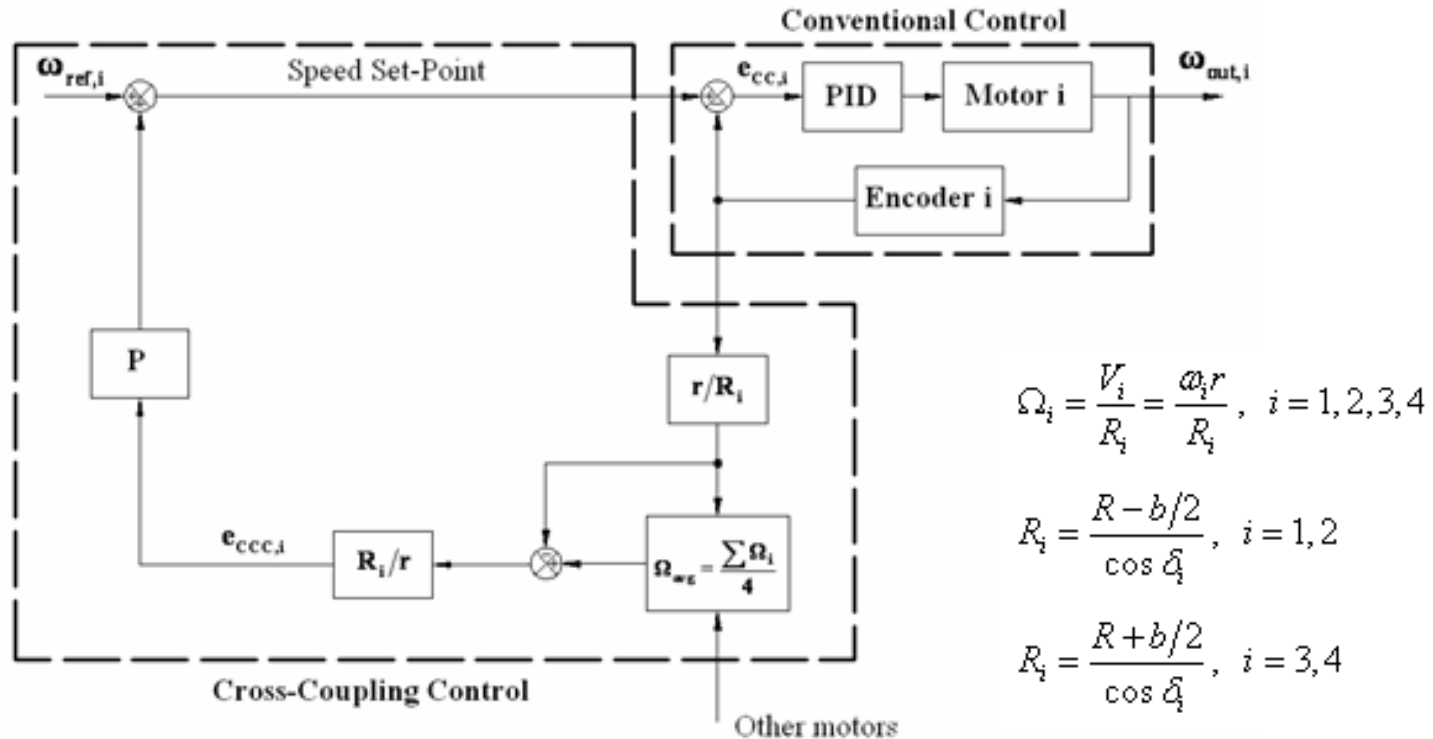
$$\Omega_i = \frac{V_i}{R_i} = \frac{\omega_i r}{R_i}, \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$R_i = \frac{R - b/2}{\cos \delta_i}, \quad i = 1, 2$$

$$R_i = \frac{R + b/2}{\cos \delta_i}, \quad i = 3, 4$$



## II Cross-Coupling Control/4



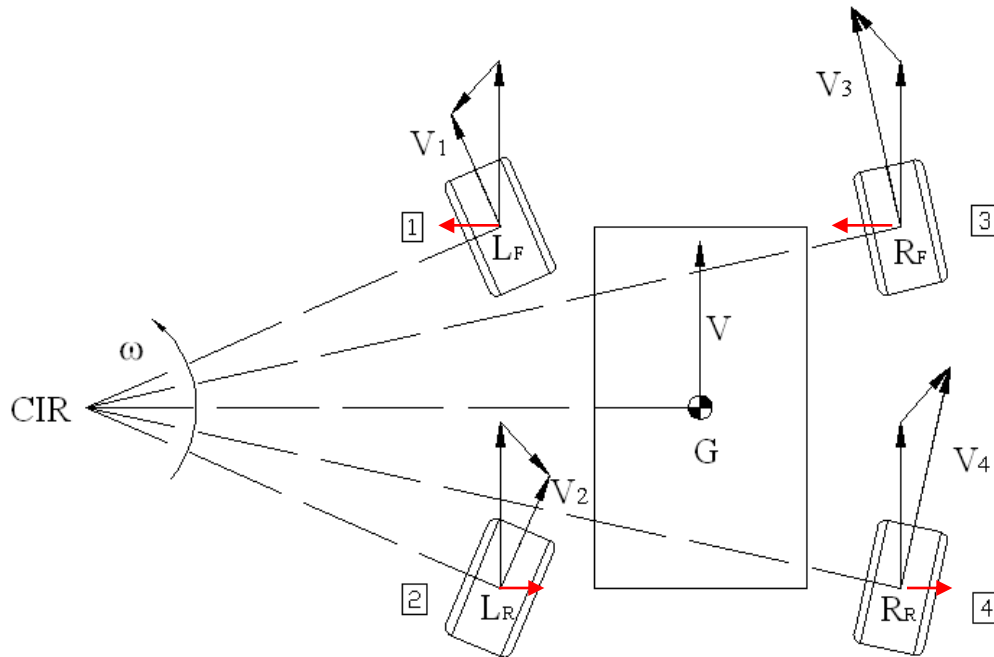
Il *Cross-Coupling Control* riceve in ingresso le velocità angolari delle quattro ruote lette dagli encoder, le trasforma in velocità angolari  $\Omega_i$ , le confronta con la velocità media e lo scostamento della velocità della ruota  $i$ -esima dal valore medio, trasformato nella velocità angolare  $\omega_i$ , è utilizzato per determinare il nuovo *setpoint*.





## Il Cross-Coupling Control/5

### Schema a blocchi del CCC in curva (II tipologia)



$$\vec{V}_1 = \vec{V} + \vec{\omega} \times (L_F - G)$$

$$\vec{V}_2 = \vec{V} + \vec{\omega} \times (L_R - G)$$

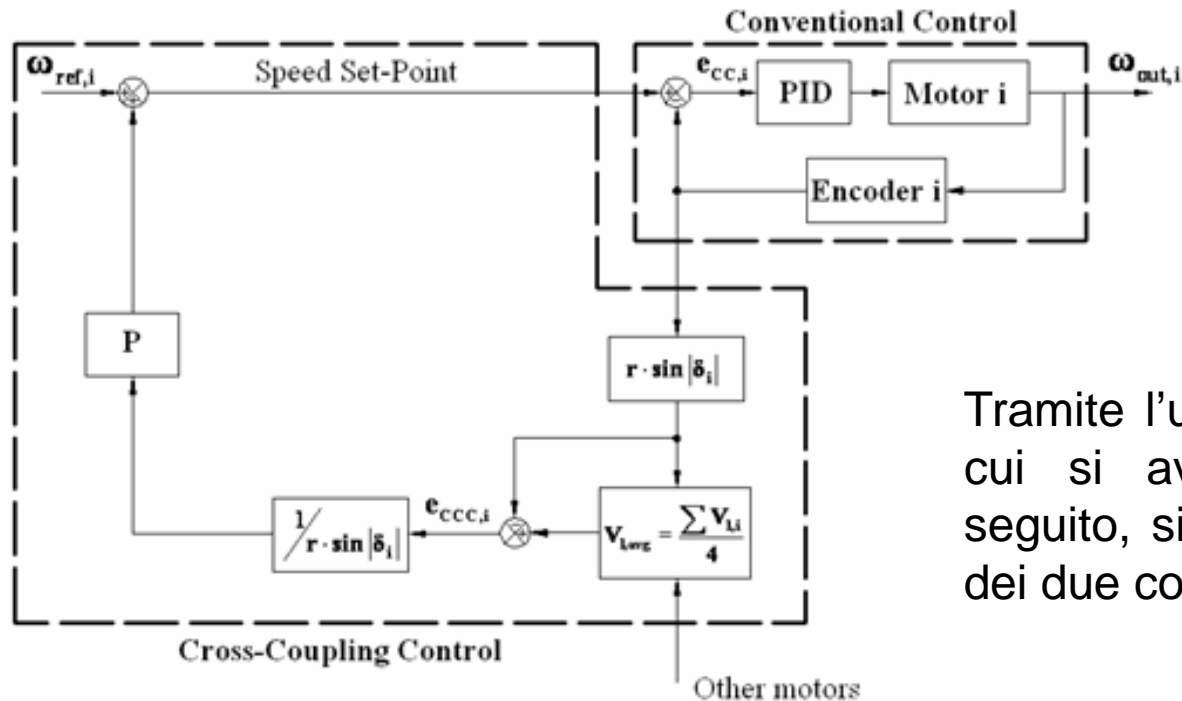
$$\vec{V}_3 = \vec{V} + \vec{\omega} \times (R_F - G)$$

$$\vec{V}_4 = \vec{V} + \vec{\omega} \times (R_R - G)$$

Le componenti laterali delle velocità lineari delle quattro ruote, durante l'esecuzione di un percorso curvilineo, devono essere, in valore assoluto, uguali tra loro.



## II Cross-Coupling Control/6



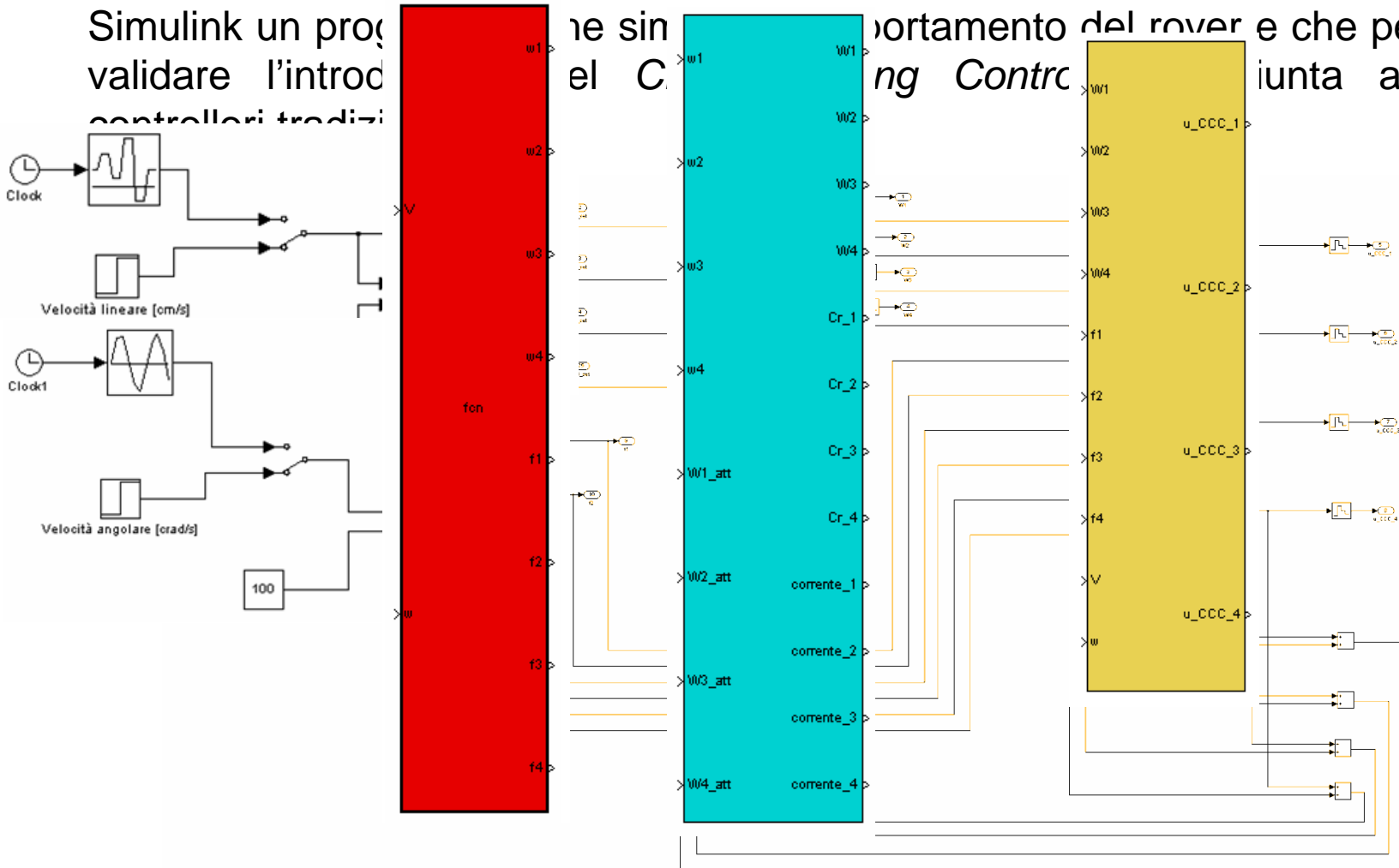
Tramite l'utilizzo di un simulatore, di cui si avrà modo di parlare in seguito, si è visto che le prestazioni dei due controllori sono molto simili.

Si è così deciso di implementare la seconda tipologia di controllo in quanto di più facile implementazione poiché è basato unicamente sulla misura della velocità angolare delle ruote  $\omega_i$  e degli angoli di sterzo  $\delta_i$ .



# Sviluppo del simulatore/1

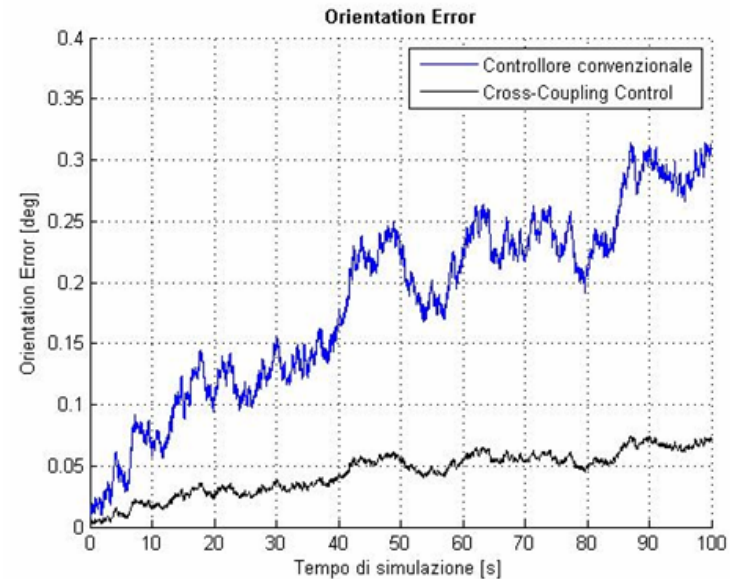
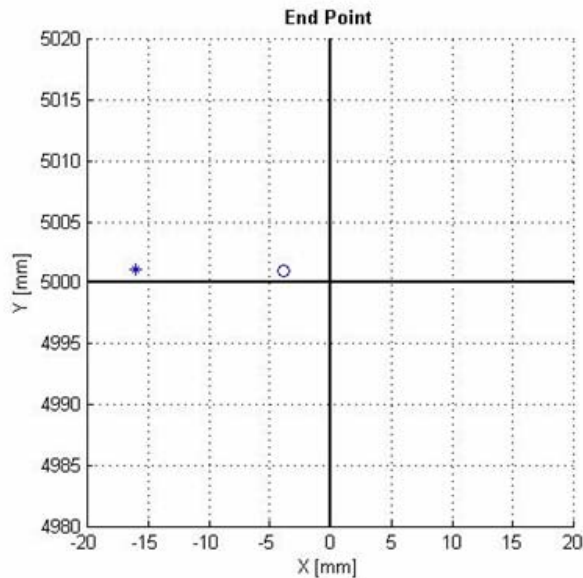
Al fine di valutare le prestazioni del sistema di controllo è stato implementato in Simulink un programma che simula il comportamento del rover e che permette di validare l'introduzione di nuovi controllori tradizionali e di controllo adattivo ai comandi.





## Sviluppo del simulatore/2

### Risultati del simulatore in moto rettilineo



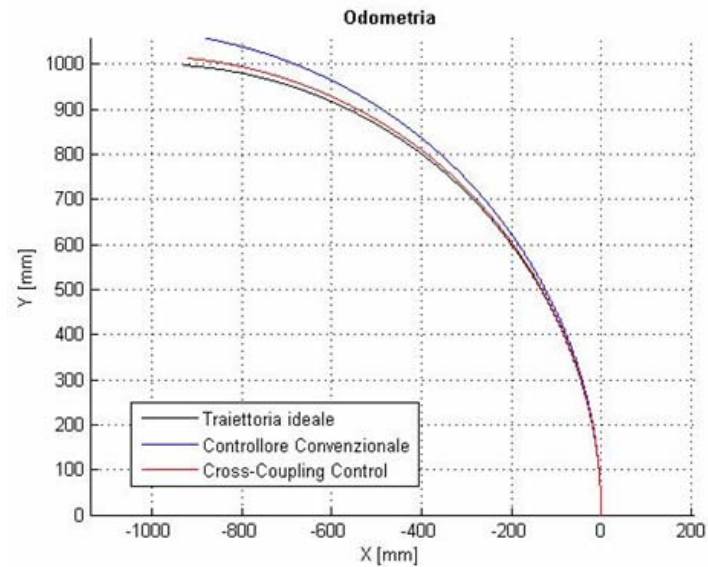
#### Scorrimenti

	Connettore convenzionale	Cross-Coupling Control
<b>Ruota 1</b>	1,55%	0,39%
<b>Ruota 2</b>	1,57%	0,39%
<b>Ruota 3</b>	1,58%	0,39%
<b>Ruota 4</b>	1,56%	0,39%



## Sviluppo del simulatore/3

### Risultati del simulatore in moto curvilineo



#### Scorrimenti

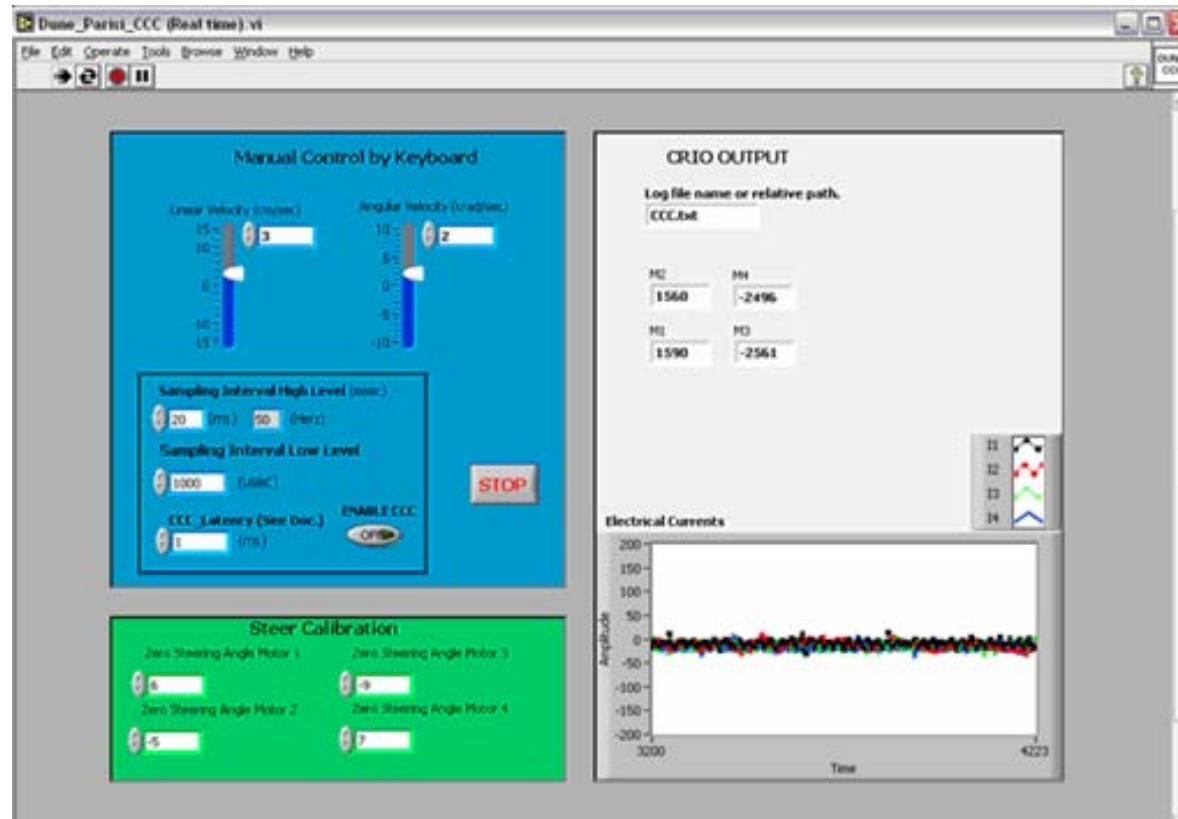
	Controllore convenzionale	Cross-Coupling Control
Ruota 1	2,46%	0.62%
Ruota 2	2,48%	0.62%
Ruota 3	1,97%	0.49%
Ruota 4	1,95%	0.49%



# Analisi sperimentale del CCC/1

## Il Front Panel del file Dune\_CCC (Real Time).vi

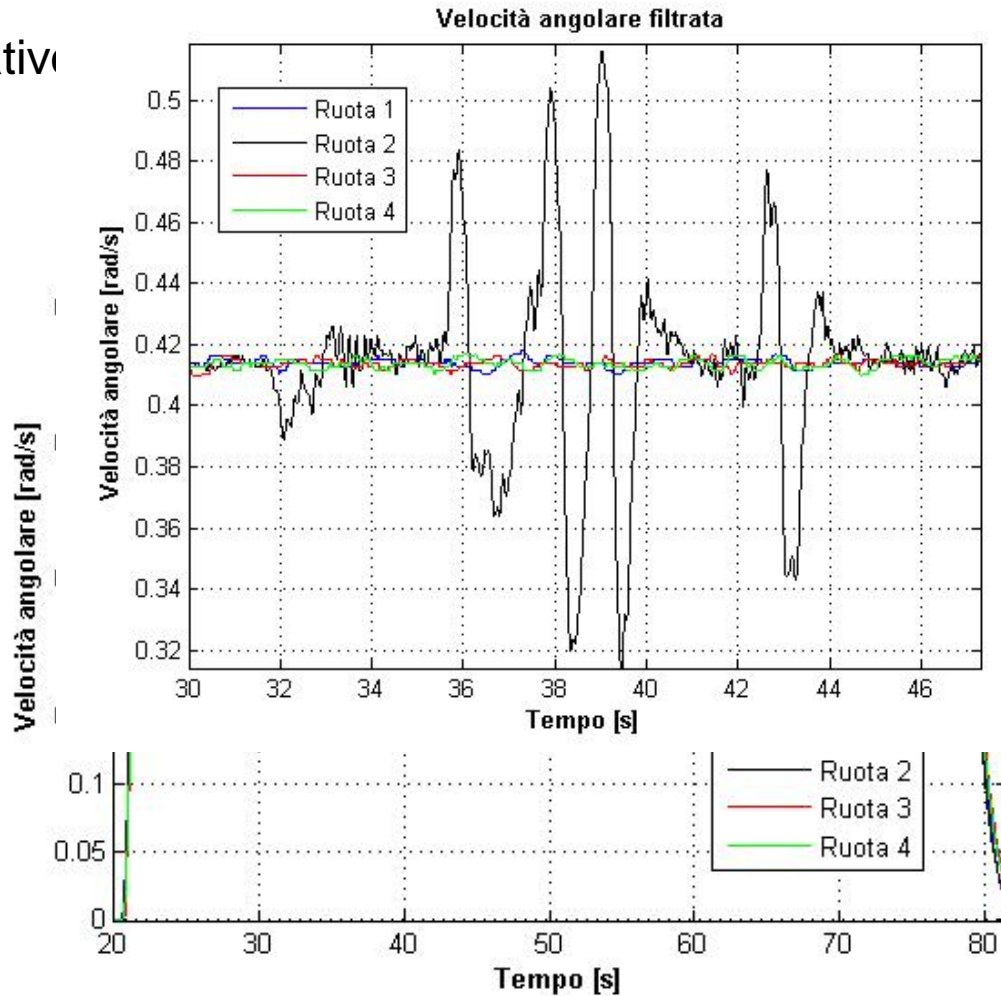
Il CCC è stato verificato sperimentalmente utilizzando il veicolo Dune programmabile in ambiente Labview

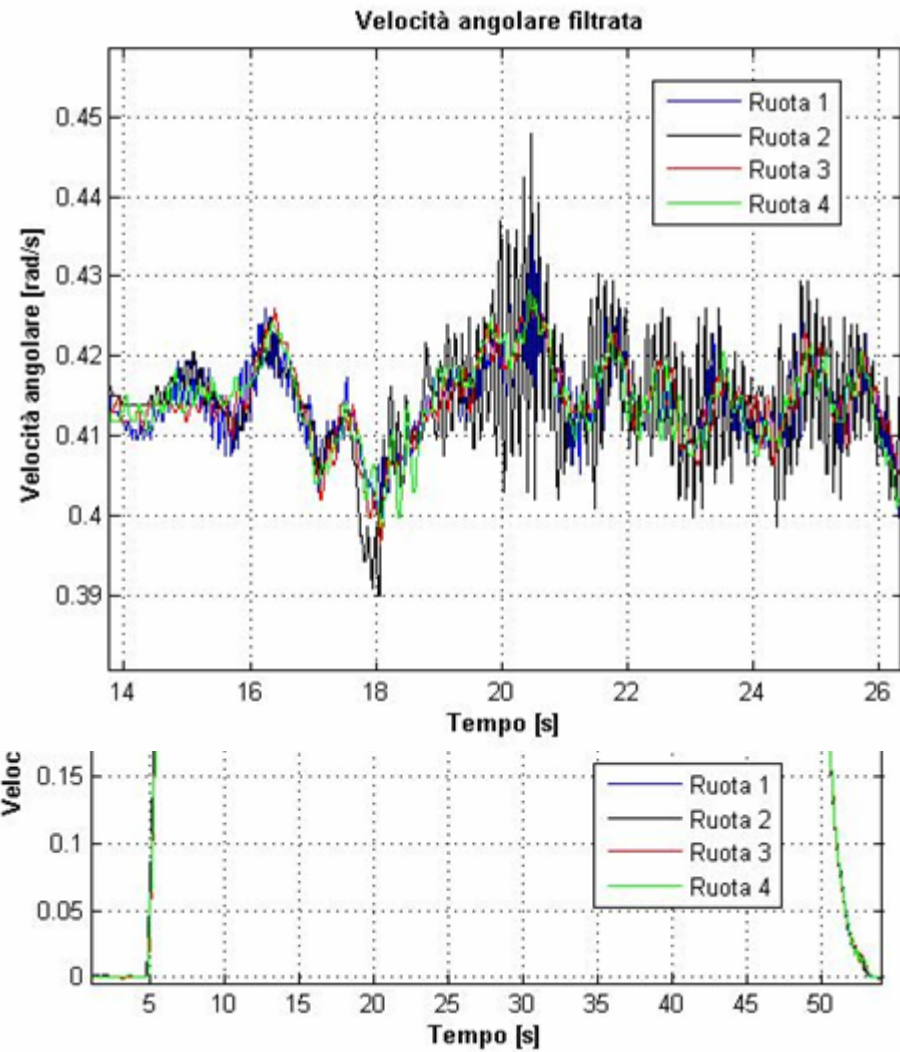




# Analisi sperimentale del CCC/2

Esempio applicativo



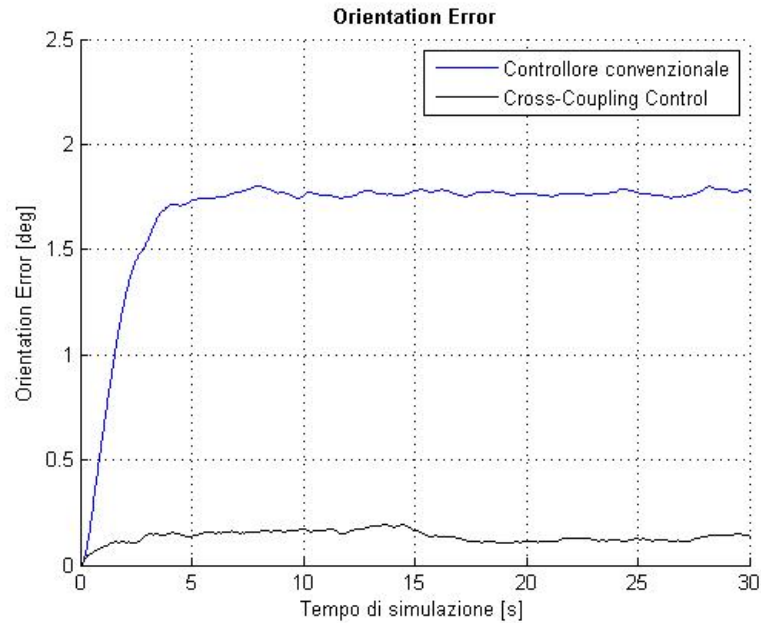






# Analisi sperimentale del CCC/4

## Prove sperimentali



### Scorrimenti

	Connettore convenzionale	Cross-Coupling Control
<b>Ruota 1</b>	0,53%	0,17%
<b>Ruota 2</b>	0,93%	0,21%
<b>Ruota 3</b>	0,90%	0,19%
<b>Ruota 4</b>	0,57%	0,21%



## ***Conclusioni***

- Al termine di questo lavoro di tesi sono apparsi evidenti i benefici del Cross-Coupling Control
- È stato infatti dimostrato, dapprima con l'utilizzo del simulatore e in seguito attraverso prove sperimentali, come l'introduzione del CCC abbia comportato per il rover Dune una riduzione dello scorrimento sulle quattro ruote e una riduzione dello scostamento del veicolo dalla traiettoria desiderata
- In rettilineo, ad esempio, si è registrato una riduzione di circa il 10% dell'*orientation error*
- Gli scorrimenti sulle quattro ruote del rover si sono ridotti invece sino al 50% nel caso di basse velocità di avanzamento
- Il Cross-Coupling Control si è dimostrato utile per migliorare la mobilità e la capacità di trazione di veicoli autonomi a trazione integrale

**Grazie per l'attenzione**