



CORSO DI PROGETTAZIONE DI SISTEMI DI CONTROLLO

A.A. 2008-2009

DEPARTMENT OF
INFORMATION
ENGINEERING
UNIVERSITY OF PADOVA



Localizzazione e tracking a tempo minimo mediante rete di sensori wireless WSN

Docente: Luca Schenato

Bellinato Luca 586291-IAM

D'Agostino Massimo 586281-IAM

Roveron Francesco 586259-IAM

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Concetti fondamentali:

➤ Rete di sensori wireless

- Monitoring
- Tracking e Localization
- Controlling

➤ WMR (Wheeled Mobile Robot)

- Sistema anolonomo
- Non linearità

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

- **Identificazione della posizione del veicolo sul piano tramite WSN**
- **Identificazione dell'orientazione del veicolo**
- **Filtraggio della posizione acquisita tramite filtro di Kalman esteso**
- **Controllo con traiettorie punto-punto**

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

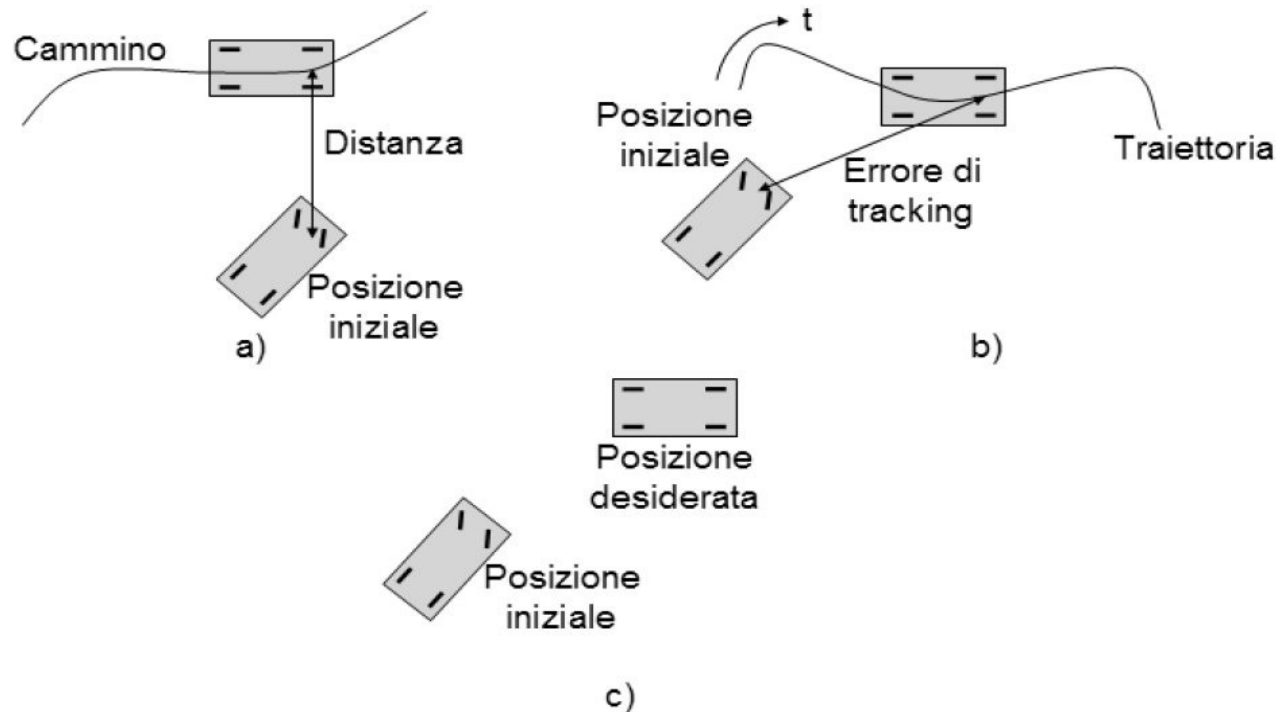
Sviluppi futuri

Classici problemi di controllo di WMR in letteratura:

➤ *Path following*

➤ *Trajectory tracking*

➤ *Point-to-point*





Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

- Controllo tramite *feedback linearization*
- Controllo non lineare secondo *Lyapunov*
- Controlli basati sul controllo predittivo
 - 'Localizzazione e tracking a tempo minimo mediante rete di sensori wireless WSN'
Sartore F., Sassaro A., Vettori D., A.A 2007-2008



Modello del sistema unicycle

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema unicycle

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

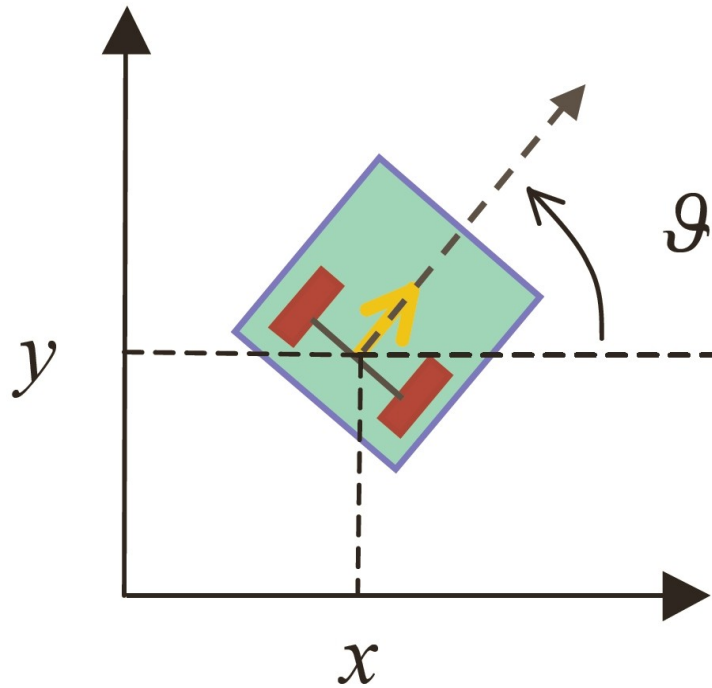
Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri



- Tre gradi di libertà: x, y, θ
- Due ingressi: velocità lineare u_1 e velocità angolare u_2

Modello continuo:

$$\begin{cases} \dot{x} = u_1 \cos(\theta) \\ \dot{y} = u_1 \sin(\theta) \\ \dot{\theta} = u_2 \end{cases}$$



Modello del sistema unicycle

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema unicycle

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

➤ **Vettore di stato:** $\begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix}$

➤ **Vettore di ingresso:** $\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$

Sistema discretizzato con il metodo di *Runge-Kutta* del secondo ordine:

$$\mathbf{x}(k + 1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{x}(k) + \begin{bmatrix} T_c \cos(\theta(k)) + \frac{u_2(k)T_c}{2} & 0 \\ T_c \sin(\theta(k)) + \frac{u_2(k)T_c}{2} & 0 \\ 0 & T_c \end{bmatrix} \mathbf{u}(k)$$



Il modello di acquisizione delle misure è

$$\mathbf{y}(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x}(k)$$

- Problemi in fase di realizzazione pratica.
- L'elevata rumorosità delle misure non consente di ottenere stime accettabili prescindendo dalla misura dell'angolo.

Soluzione: modello con stato aumentato

$$\mathbf{y}(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{x}(k)$$

Introduzione

Stato dell'arte

**Modello del sistema
uniciclo**

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Modello del sistema unicycle

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema unicycle

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

- **Soluzione inapplicabile in NavLab: Teseo non restituisce la misura dell'angolo.**
- **Dopo un tratto rettilineo si calcola l'angolo della retta di regressione sulle misure acquisite durante quel movimento.**
- **Tale angolo è risultato una stima accettabile dell'angolazione effettiva della traiettoria.**



Filtro di Kalman Esteso : EKF

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

**Filtro di Kalman
Esteso : EKF**

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

- Il filtro di Kalman esteso è un algoritmo che risolve, seppur in modo approssimato, il problema della stima dello stato di un modello non lineare.
- Il principio fondamentale su cui si basa è la linearizzazione, ad ogni istante di campionamento, delle equazioni dinamiche, attorno alla miglior stima di $x(t)$ disponibile a quel momento.



EQUAZIONI DEL MODELLO

$$x(k+1) = f(k, x(k), u(k)) + v(k)$$

$$y(k) = h(k, x(k)) + w(k)$$

- $v(k)$: rumore bianco di media nulla e varianza $Q = Q'$ s.d.p.
- $w(k)$: rumore bianco di varianza R d.p.
- $v(k)$ e $w(k)$ scorrelati fra loro e dallo stato iniziale $x(0)$

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

**Filtro di Kalman
Esteso : EKF**

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri



Filtro di Kalman Esteso : EKF

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

**Filtro di Kalman
Esteso : EKF**

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

DEFINIZIONI PRELIMINARI

$$\hat{\Phi}(k|k) = \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_{x=\hat{x}(k|k)} , \quad \hat{H}(k+1|k) = \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=\hat{x}(k+1|k)}$$

EQUAZIONI DEL PREDITTORE

$$\hat{x}(k+1|k) = f(\hat{x}(k|k), u(k))$$

$$P_{(k+1|k)} = \hat{\Phi}_{(k|k)} P_{(k|k)} \hat{\Phi}_{(k|k)}^T + Q$$

GUADAGNO DI KALMAN

$$K_{(k+1)} = P_{(k+1|k)} \hat{H}_{(k+1|k)}^T (\hat{H}_{(k+1|k)} P_{(k+1|k)} \hat{H}_{(k+1|k)}^T + R)^{-1}$$

EQUAZIONI DI AGGIORNAMENTO

$$\hat{x}(k+1|k+1) = \hat{x}(k+1|k) + K_{(k+1)} [y(k+1) - h(\hat{x}(k+1|k))]$$

$$P_{(k+1|k+1)} = [I - K_{(k+1)} \hat{H}_{(k+1|k)}] P_{(k+1|k)} [I - K_{(k+1)} \hat{H}_{(k+1|k)}] + K_{(k+1)} R K_{(k+1)}^T$$



Filtro di Kalman Esteso : EKF

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

**Filtro di Kalman
Esteso : EKF**

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

- L'algoritmo usa il modello linearizzato solo per il calcolo del guadagno di Kalman e delle matrici varianza d'errore.
- Il passo di predizione viene effettuato usando l'equazione alle differenze non lineare.
- Per determinare il guadagno di Kalman è necessario, ad ogni passo di campionamento, ricalcolare le matrici in corrispondenza delle stime correnti.
- La successione dei guadagni di Kalman non può quindi essere precalcolata fuori linea.

Filtro di Kalman Esteso : EKF

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

**Filtro di Kalman
Esteso : EKF**

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

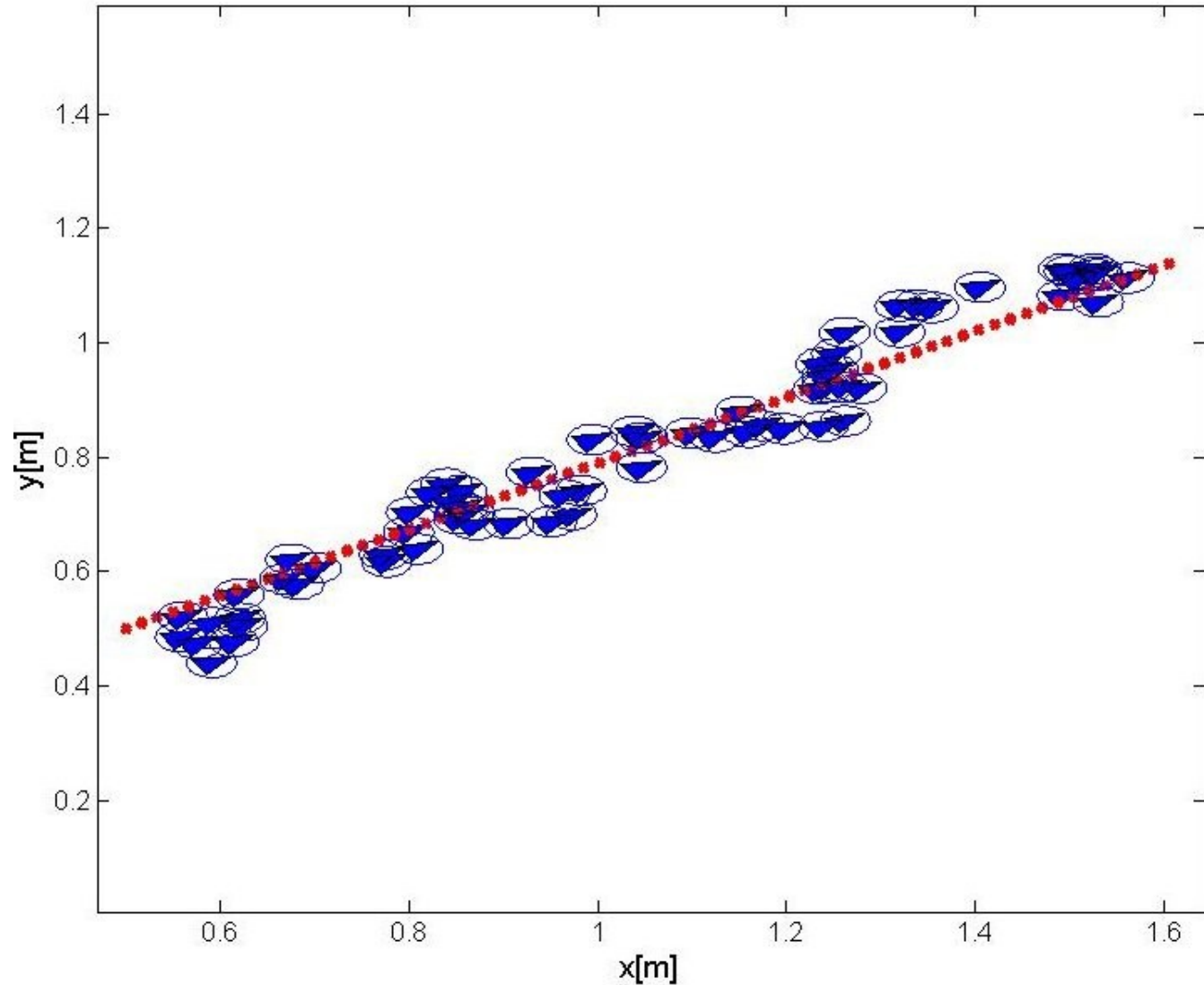
Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

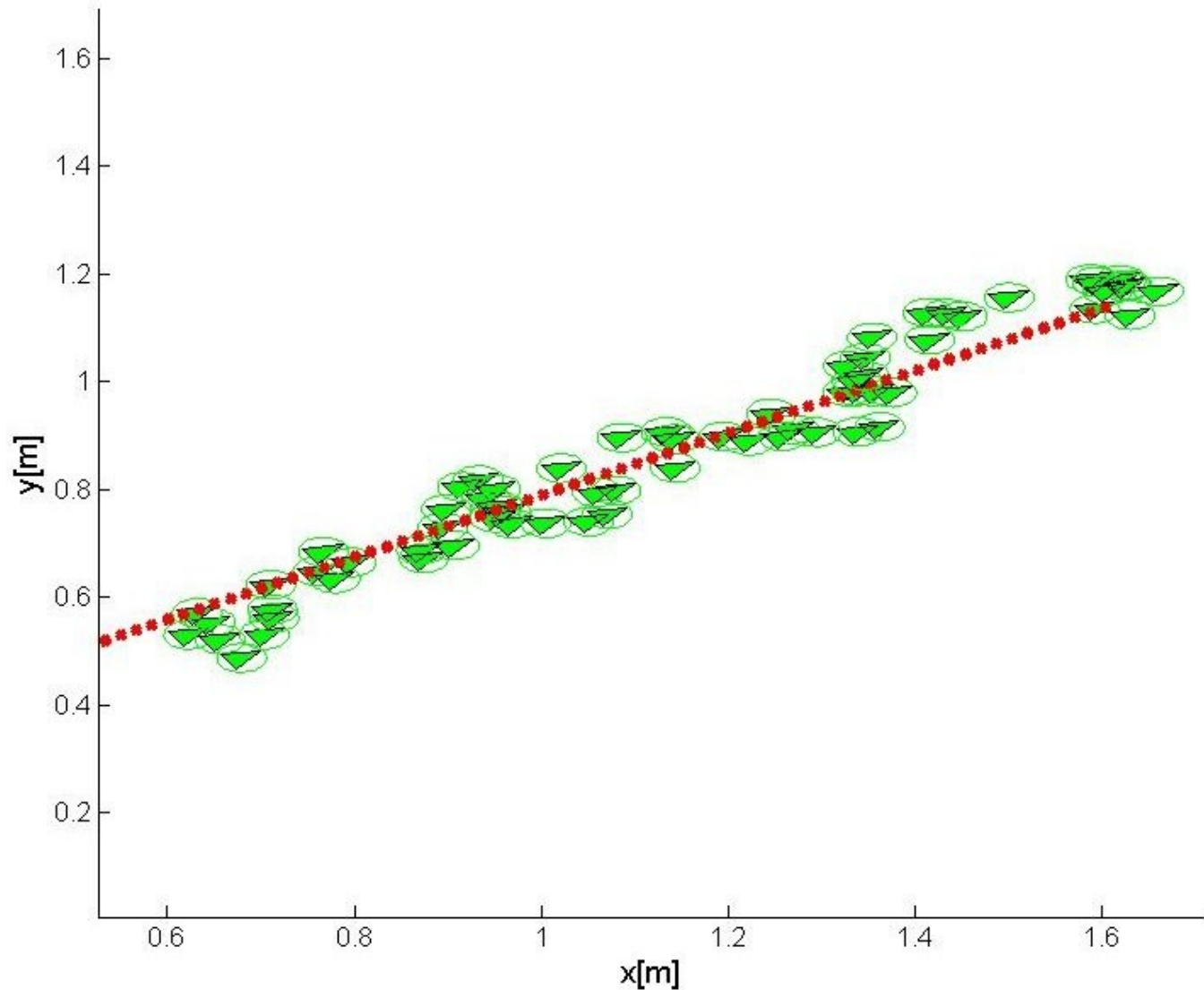
Sviluppi futuri

Applicazione del filtro di Kalman su un tratto di 1 [m] usando il modello ideale dell'uniciclo



Filtro di Kalman Esteso : EKF

Applicazione del filtro di Kalman su un tratto di 1 [m]
usando la regressione lineare.



Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

**Filtro di Kalman
Esteso : EKF**

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Filtro di Kalman Esteso : EKF

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

**Filtro di Kalman
Esteso : EKF**

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

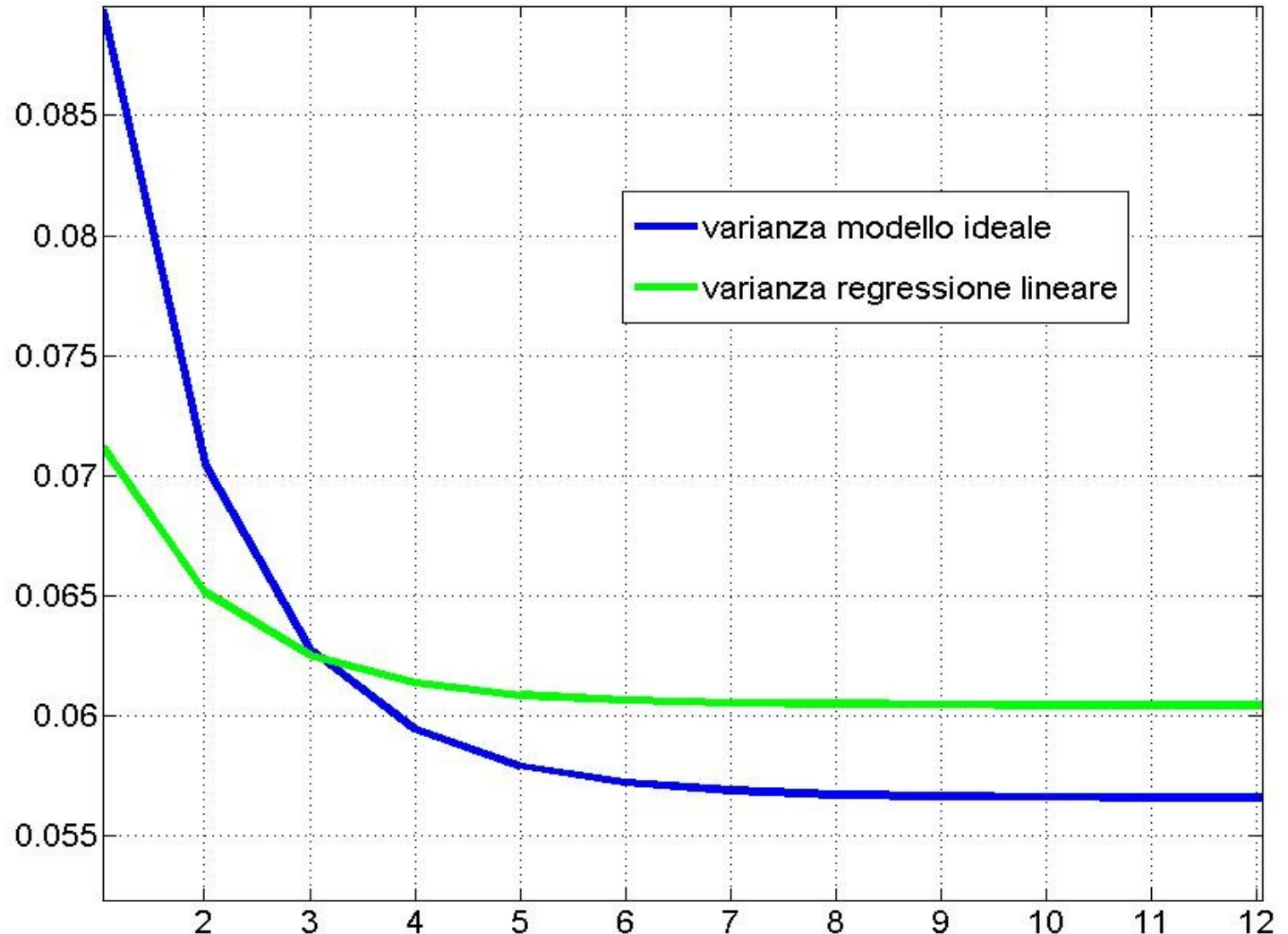
Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Confronto tra le varianze d'errore calcolate nelle differenti configurazioni



Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

**Architettura del
sistema**

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

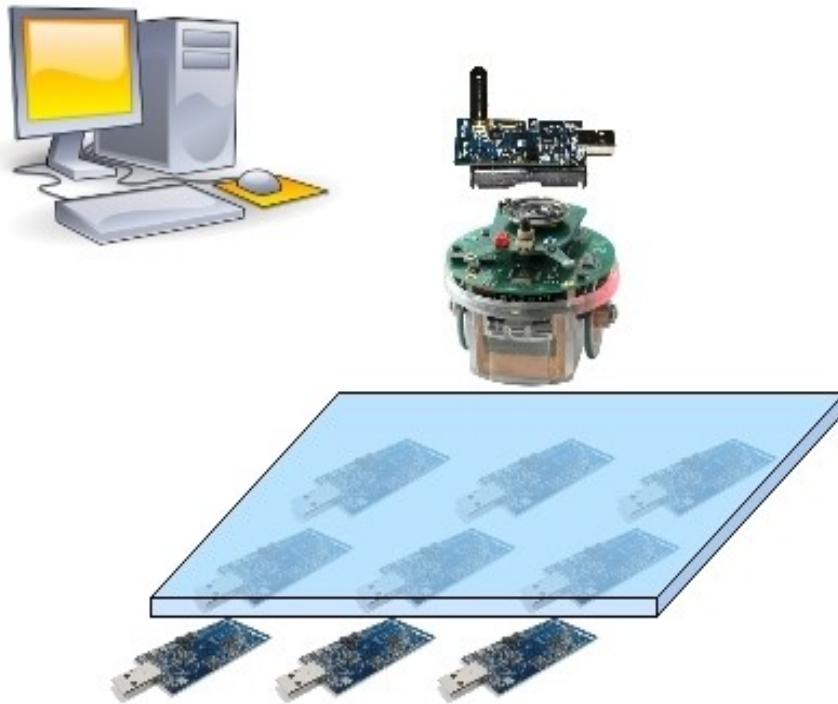
Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Descrizione dell'apparato



- Pedana
- 64 nodi à ancora
posti sotto la piastra
- 1 nodo mobile
posto sopra il robot
- 1 base station
attaccata all'elaboratore
- Uniciclo
- Calcolatori

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

**Architettura del
sistema**

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri



Sistema operativo

- Creato appositamente per WSN
- gestione a moduli caricabili singolarmente per ottimizzare spazio richiesto
- programmato in NesC (estensione C)
- costruito C e SO in file separati

Caratteristiche principali

- **Radio trasmettitore**
Chipcon CC2420: 250kbps, 2.4GHz IEEE 802.15.4
- **Microcontrollore**
Texas Instruments MSP430: 10k RAM, 48k ROM
- **Flash** esterna da 1MB
- Programmabile via USB





Tre software diversi utilizzati:

Nodo àncora

Inviano ciclicamente un pacchetto contenente il loro ID

Nodo mobile

Nodo da localizzare; riceve i messaggi dai nodi àncora, vi accorpa la misura di potenza del segnale ricevuto e li inoltra alla *base station*.

Base Station

Fa da ponte tra il nodo mobile e il calcolatore

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

**Architettura del
sistema**

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Disposizione dei sensori e realizzazione WSN

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

**Architettura del
sistema**

Analisi dei dati
forniti da Teseo

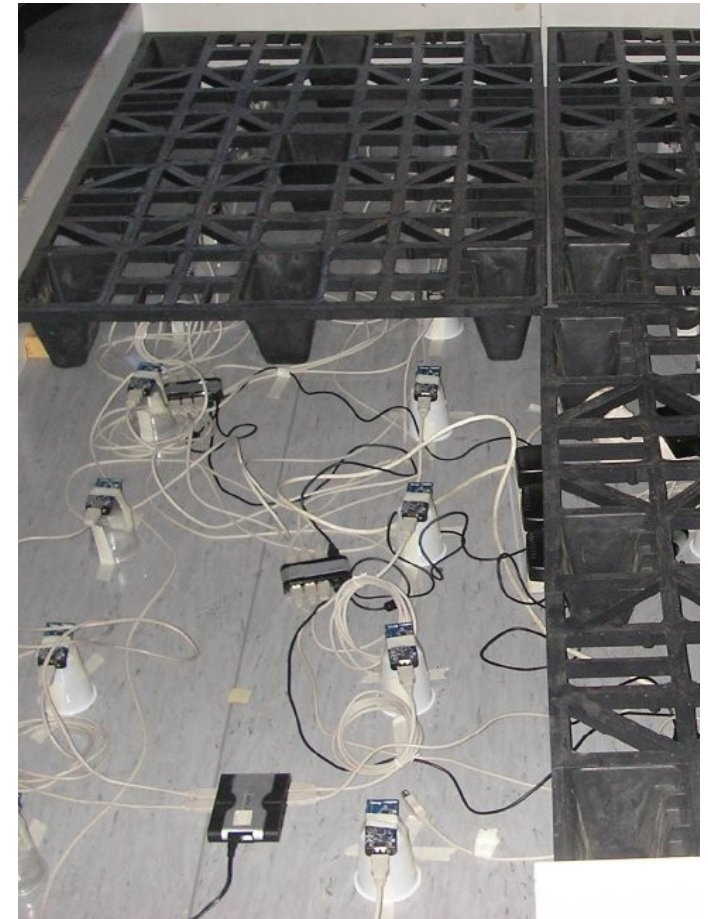
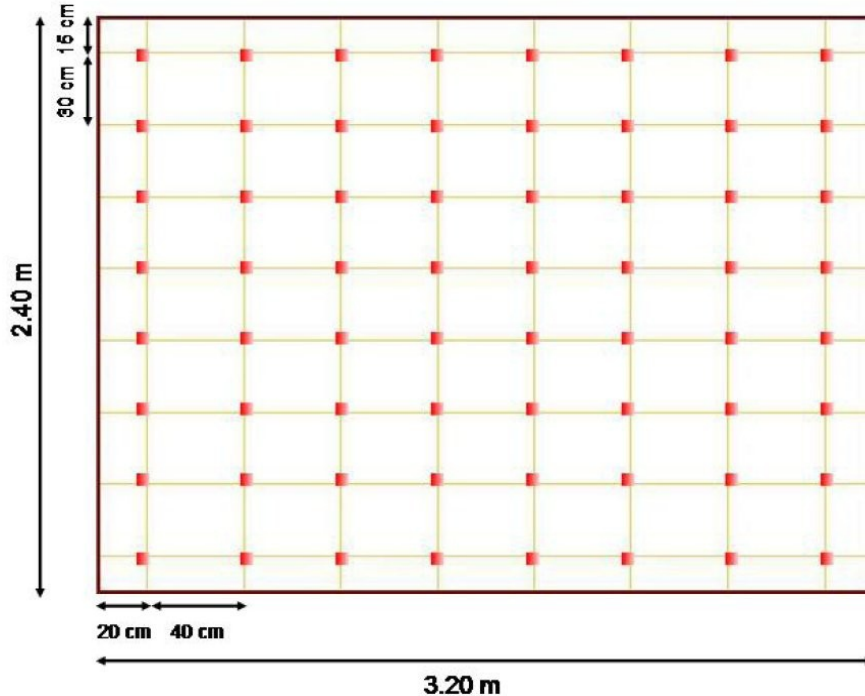
Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

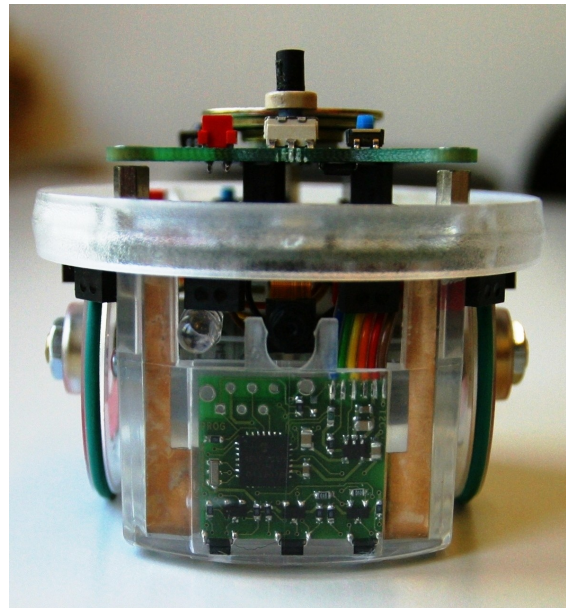
Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri



Architettura del sistema



Caratteristiche principali

- **Microcontrollore**
dsPIC della Microchip
- **Connessione bluetooth**
tramite chip LMX9820A
- **Connessione seriale**
- **Due motori passo-passo**
- **Sensori di prossimità**

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

**Architettura del
sistema**

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri



Architettura del sistema

Per governare l'*e-puck* sono necessari:

Firmware

Btcom_default.hex

Da caricare tramite apposito bootloader.

Librerie di Matlab

Permettono di gestire l'*e-puck* da riga di comando tramite una connessione bluetooth

Il tutto è reperibile sul sito *dell'Epuk*

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

**Architettura del
sistema**

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri



Comandi Matlab per l'uso dell'*Epuck*

Connessione:

```
epuck1 = ePicKernel  
epuck1 = connect(epuck1, 'COM61')
```

Impostare velocità:

```
set(epuck1, 'speed', [vel vel])  
update(epuck1)
```

Lettura stato *Epuck*:

```
[val, up] = get(epuck1, 'proxi')
```

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

**Architettura del
sistema**

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Architettura del sistema

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

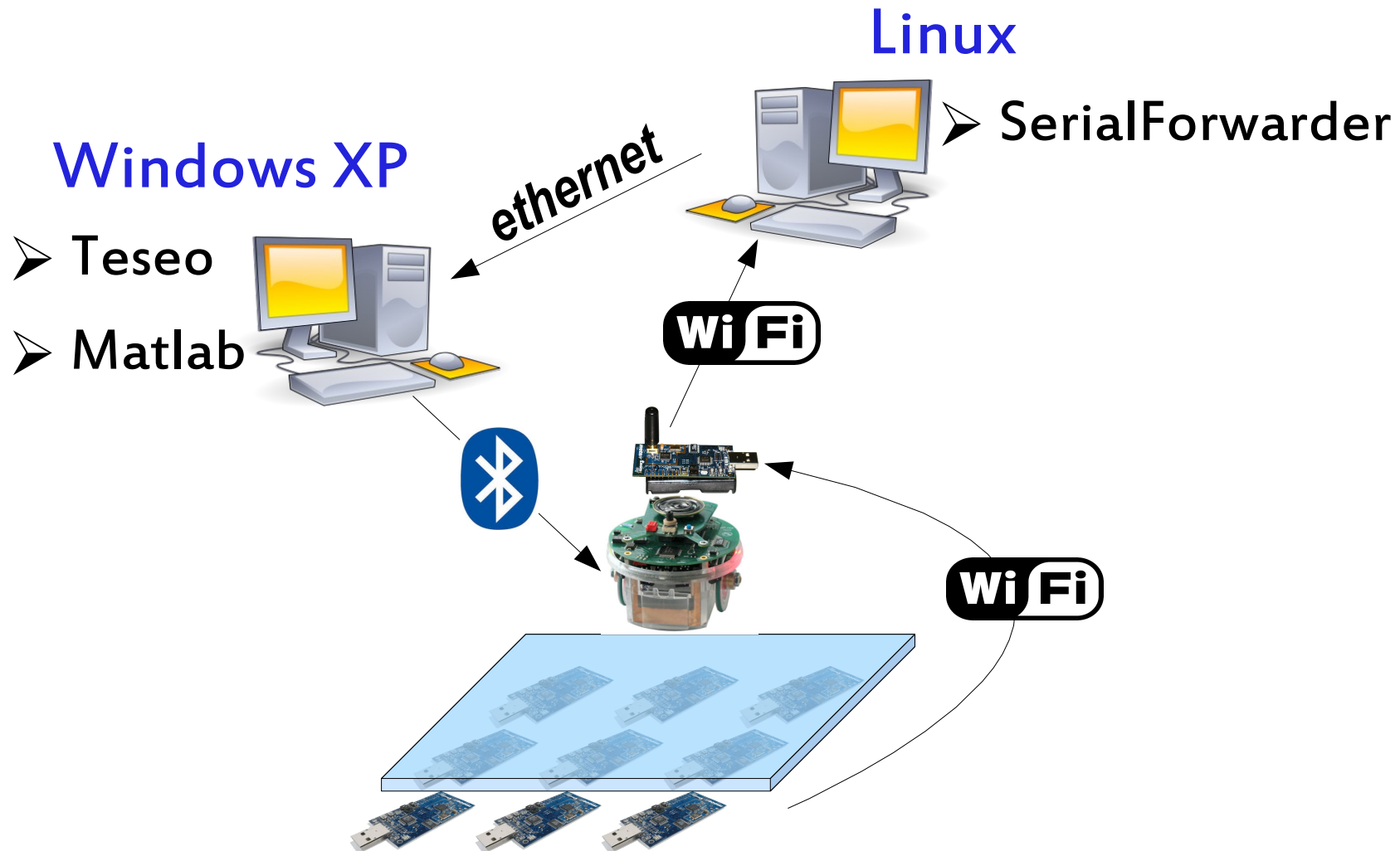
Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Interconnessioni





Analisi dei dati forniti da *Teseo*

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Valutazione di attendibilità e veridicità delle misure fornite dal software di localizzazione *Teseo*

1^a Prova : *raccolta di misure del nodo mobile fermo
in posizioni conosciute precisamente*



Analisi dei dati forniti da *Teseo*

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

Fase di
inizializzazione

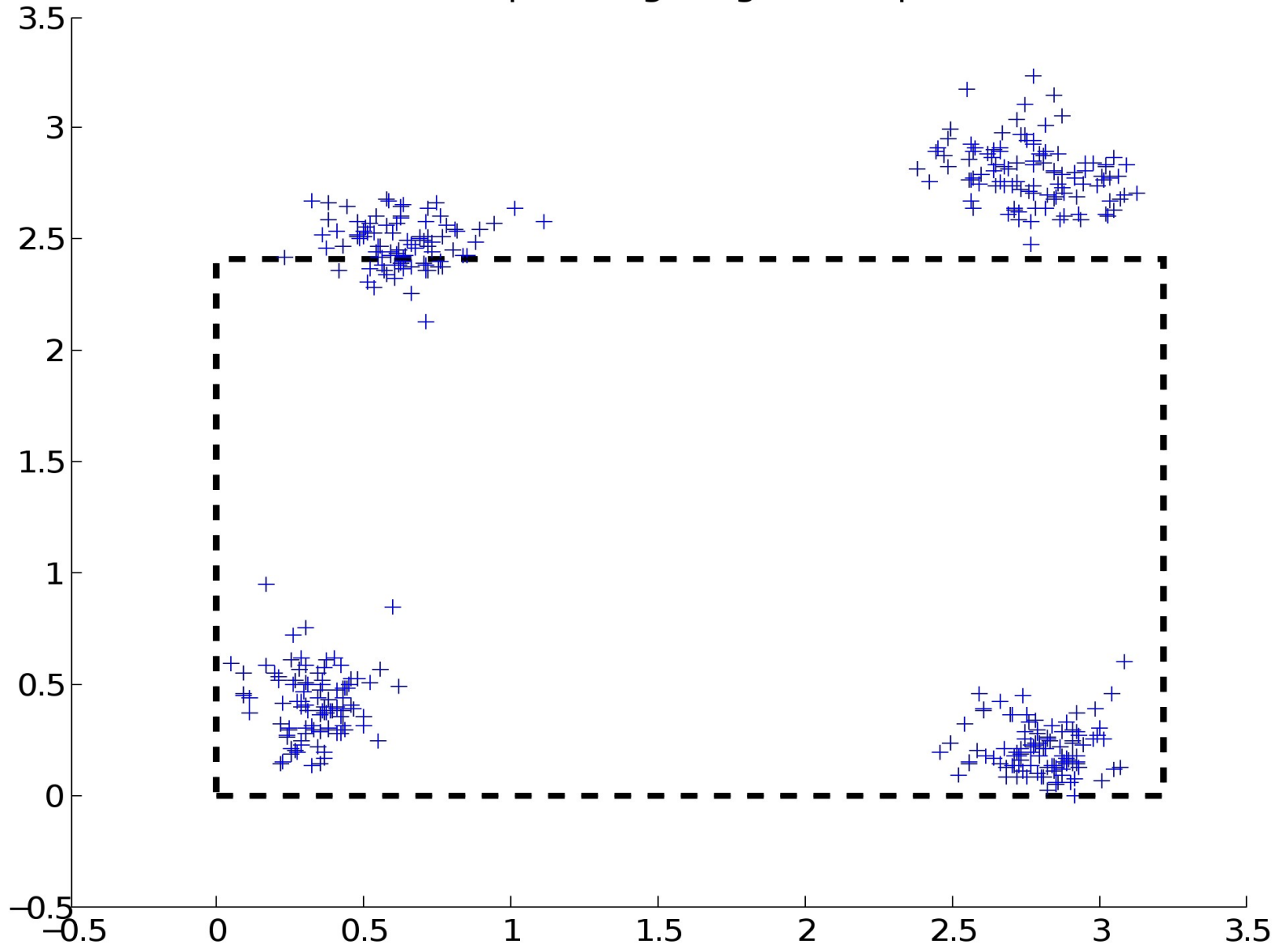
Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Stime con epuck sugli angoli della piastra





Analisi dei dati forniti da *Teseo*

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

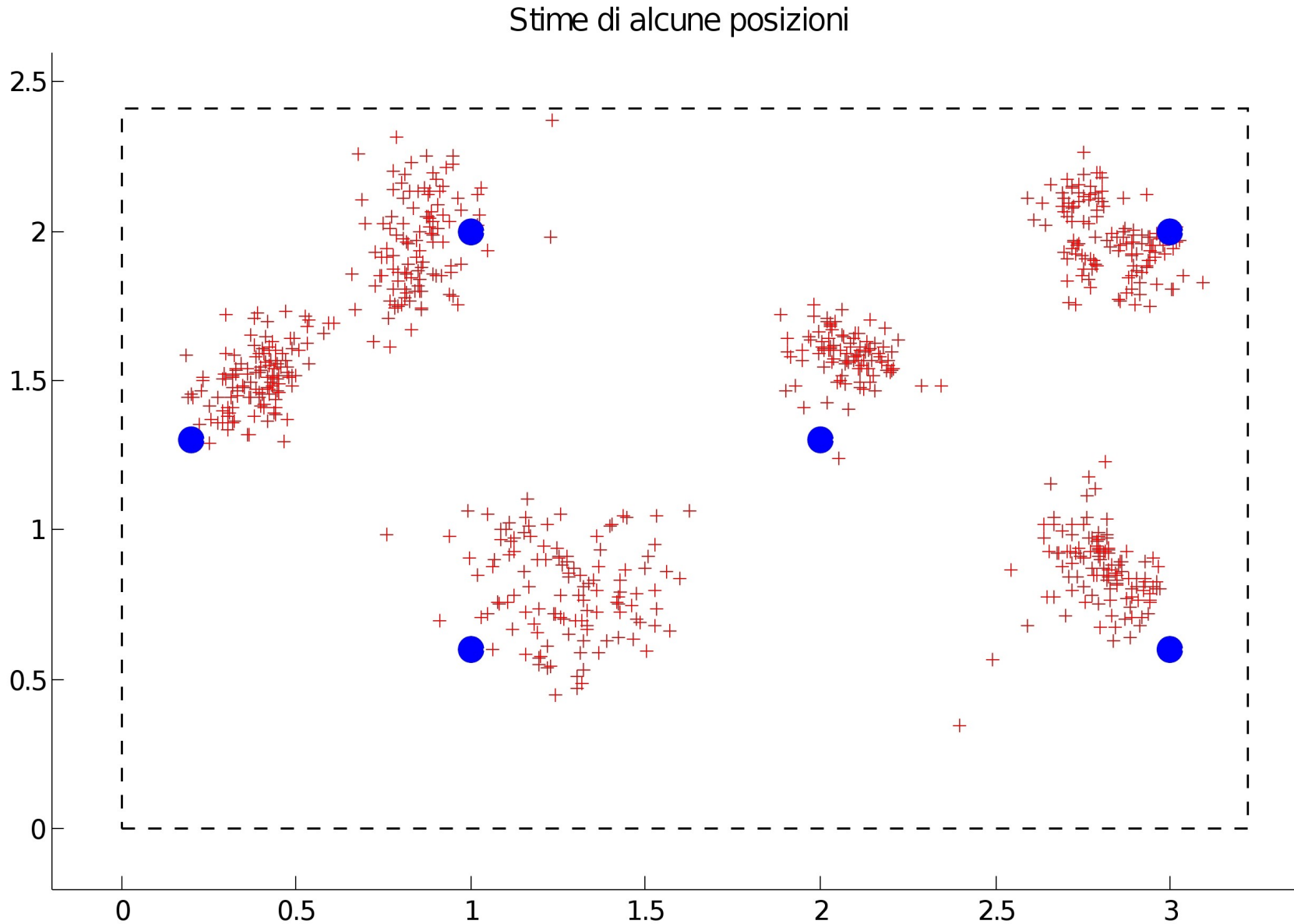
Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri





Analisi dei dati forniti da *Teseo*

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

2^a Prova : *Misure delle posizioni del robot in
movimento su traiettorie rettilinee*

Analisi dei dati forniti da *Teseo*

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

Fase di
inizializzazione

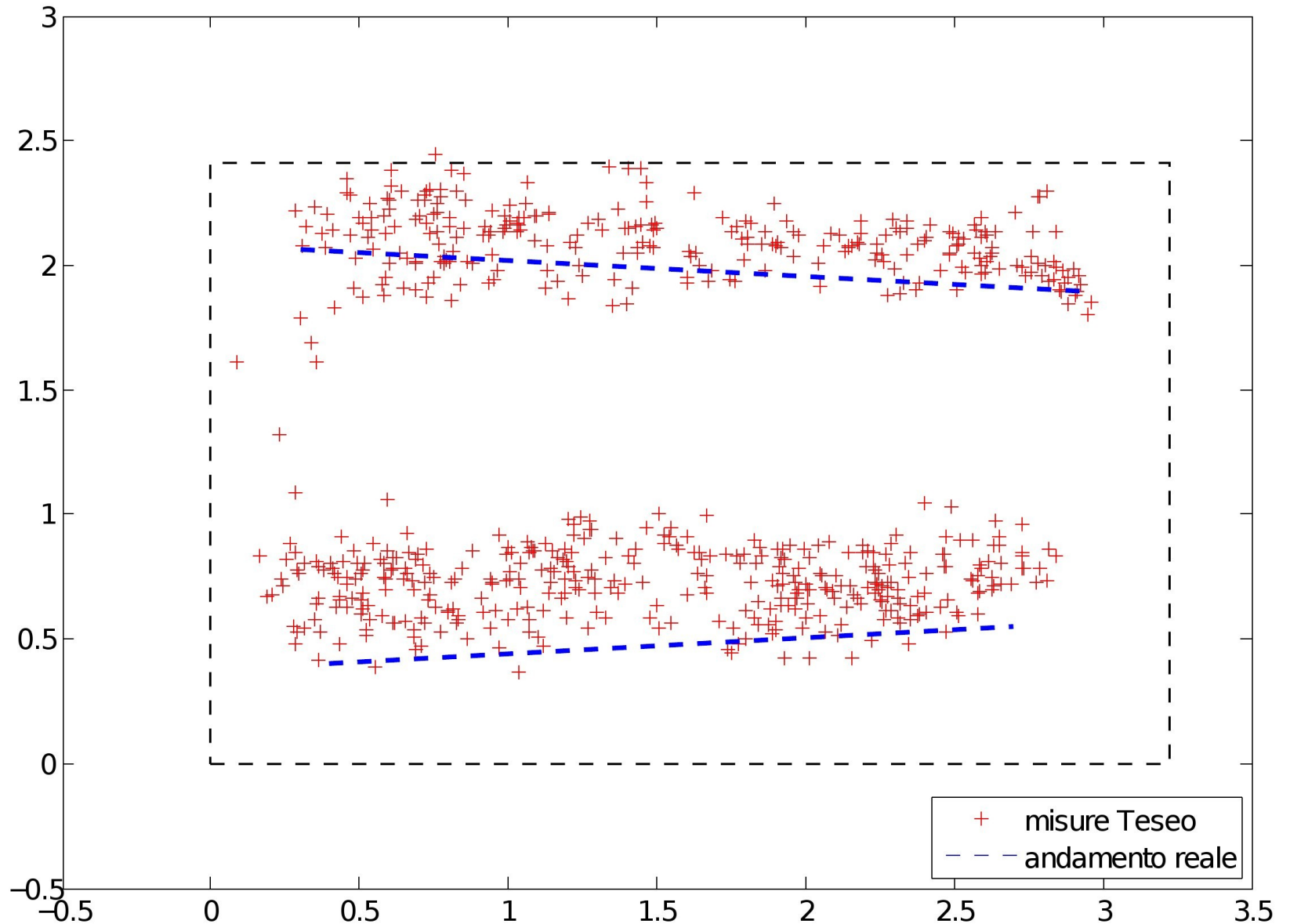
Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Misure andamenti rettilinei





Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

OFFSET DI MISURA

- *Variabile a seconda della zona di lavoro*
- *Non simmetrico (generalmente si osserva una traslazione verso l'alto)*
- *Tempo variante*

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

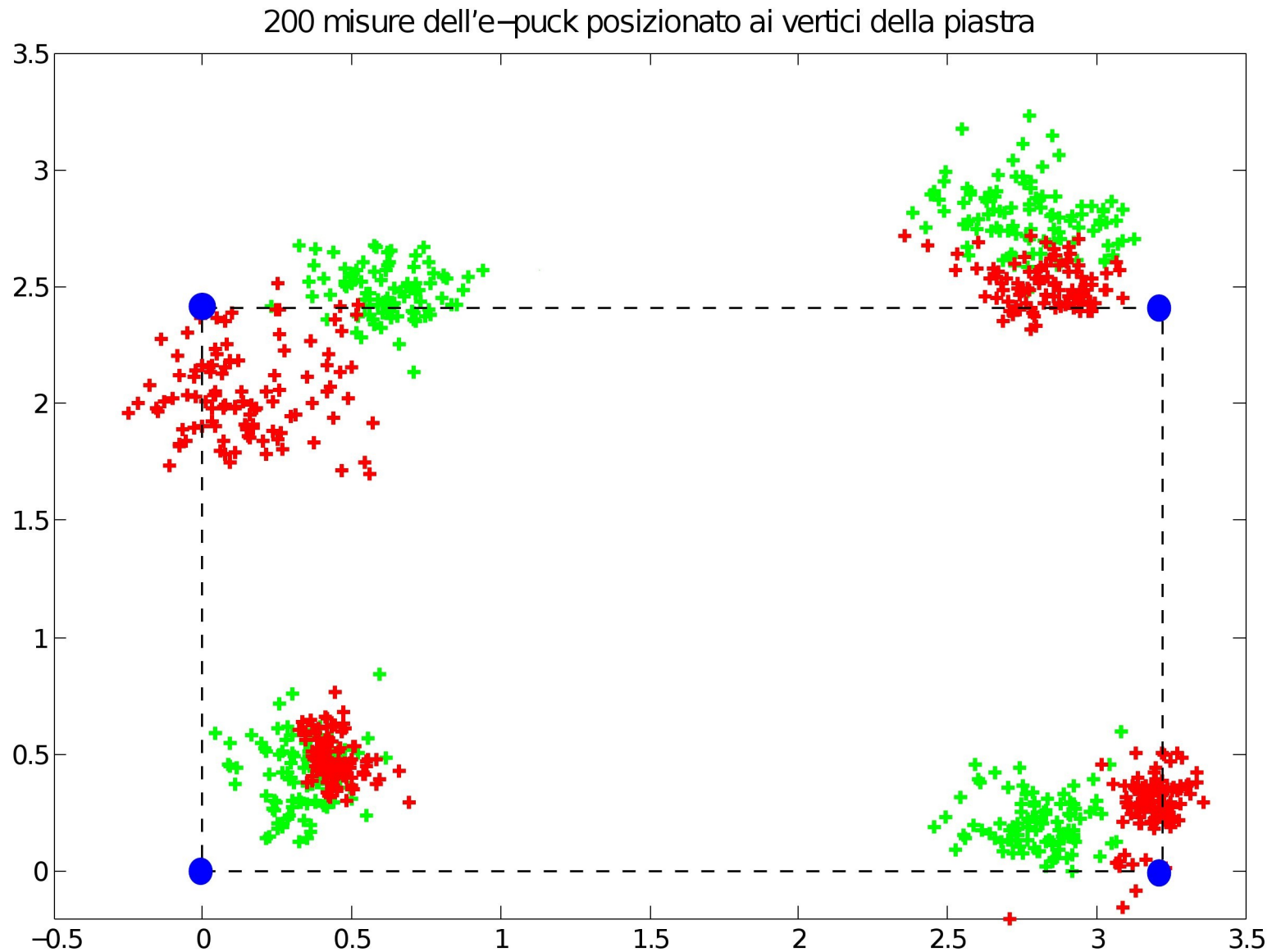
Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri



Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

Fase di
inizializzazione

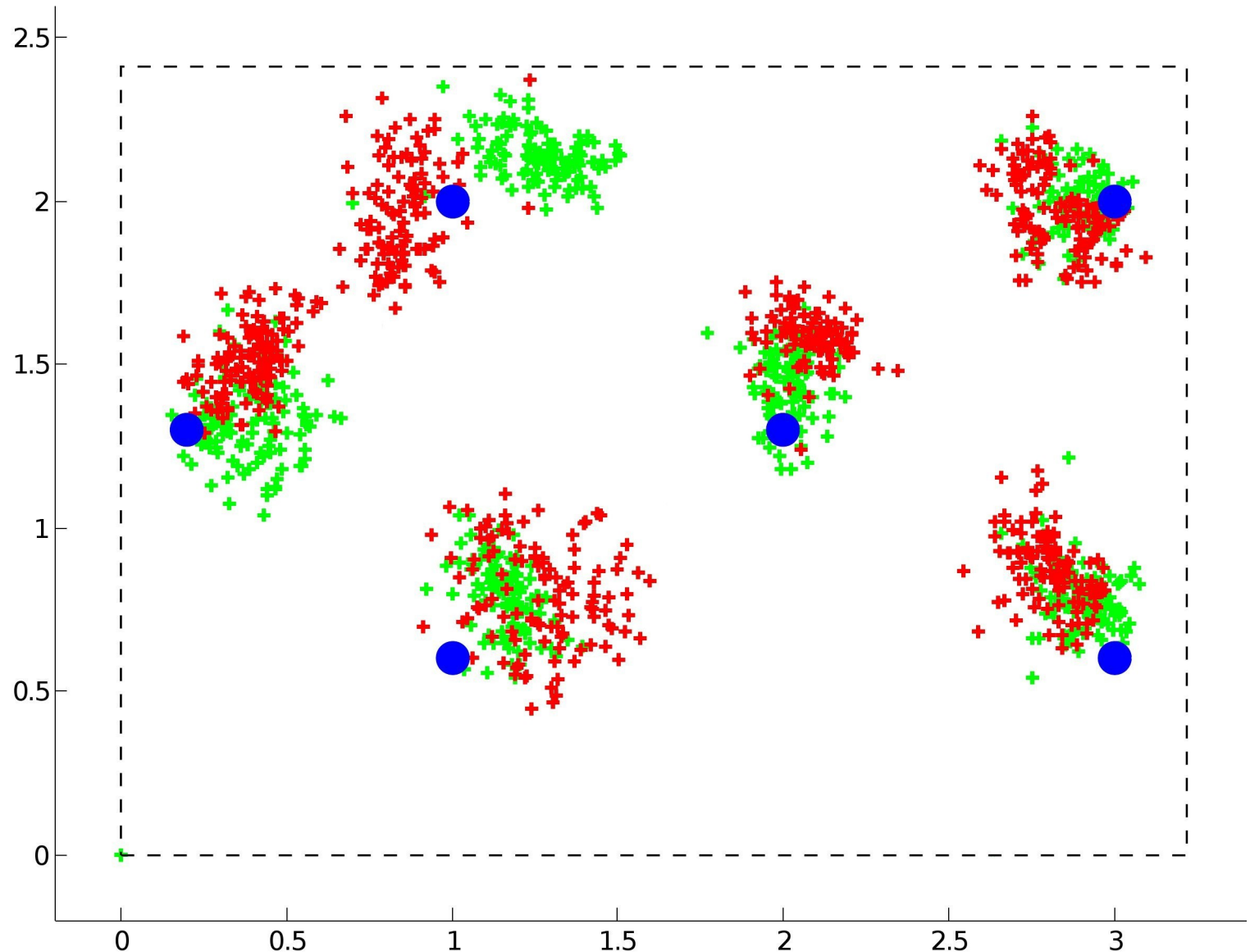
Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Stime di alcune posizioni interne alla piastra





Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

ERRORE DI MISURA

*Osservando un campione consistente di misure
proviamo a descriverne la legge con cui appaiono
distribuite*

Analisi dei dati forniti da *Teseo*

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

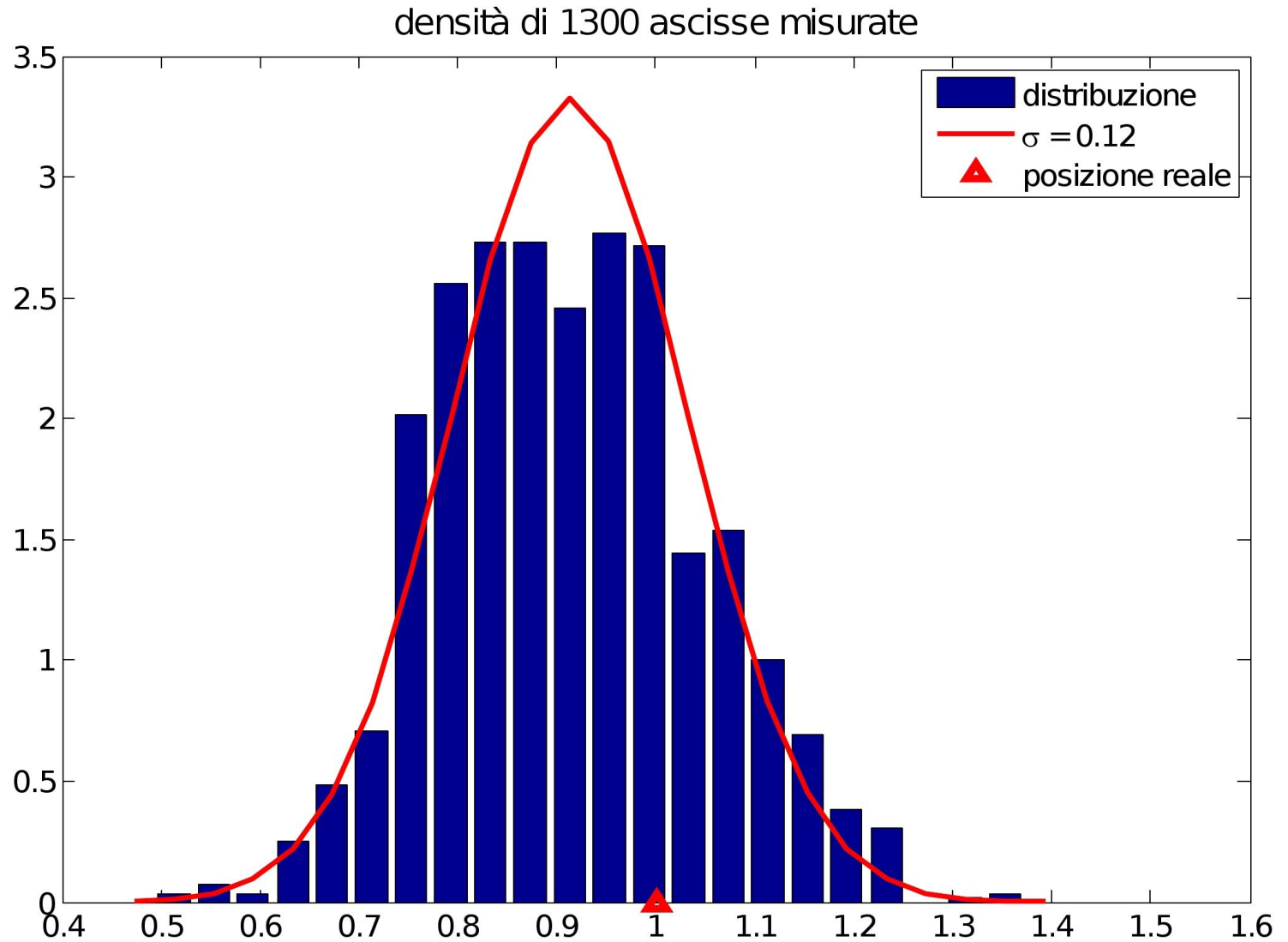
Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri



Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

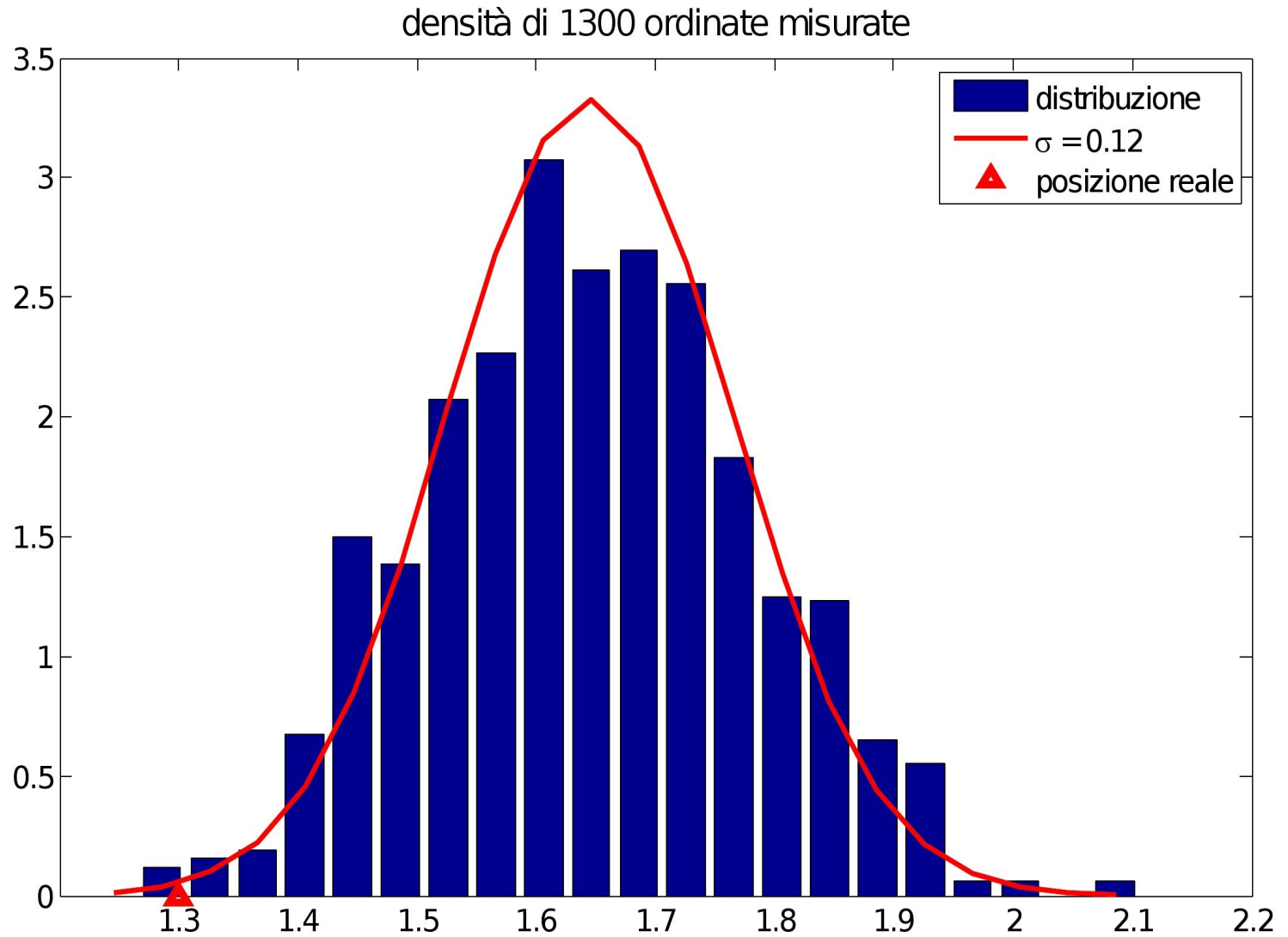
Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri





Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

E SE CONSIDERASSIMO POCHE MISURE ?

Teseo effettua all'incirca 3 stime al secondo.

**Risulta realistico considerare un campione di 20
misure del robot fermo sulla posizione cartesiana
(1, 1,3) metri**



Analisi dei dati forniti da *Teseo*

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

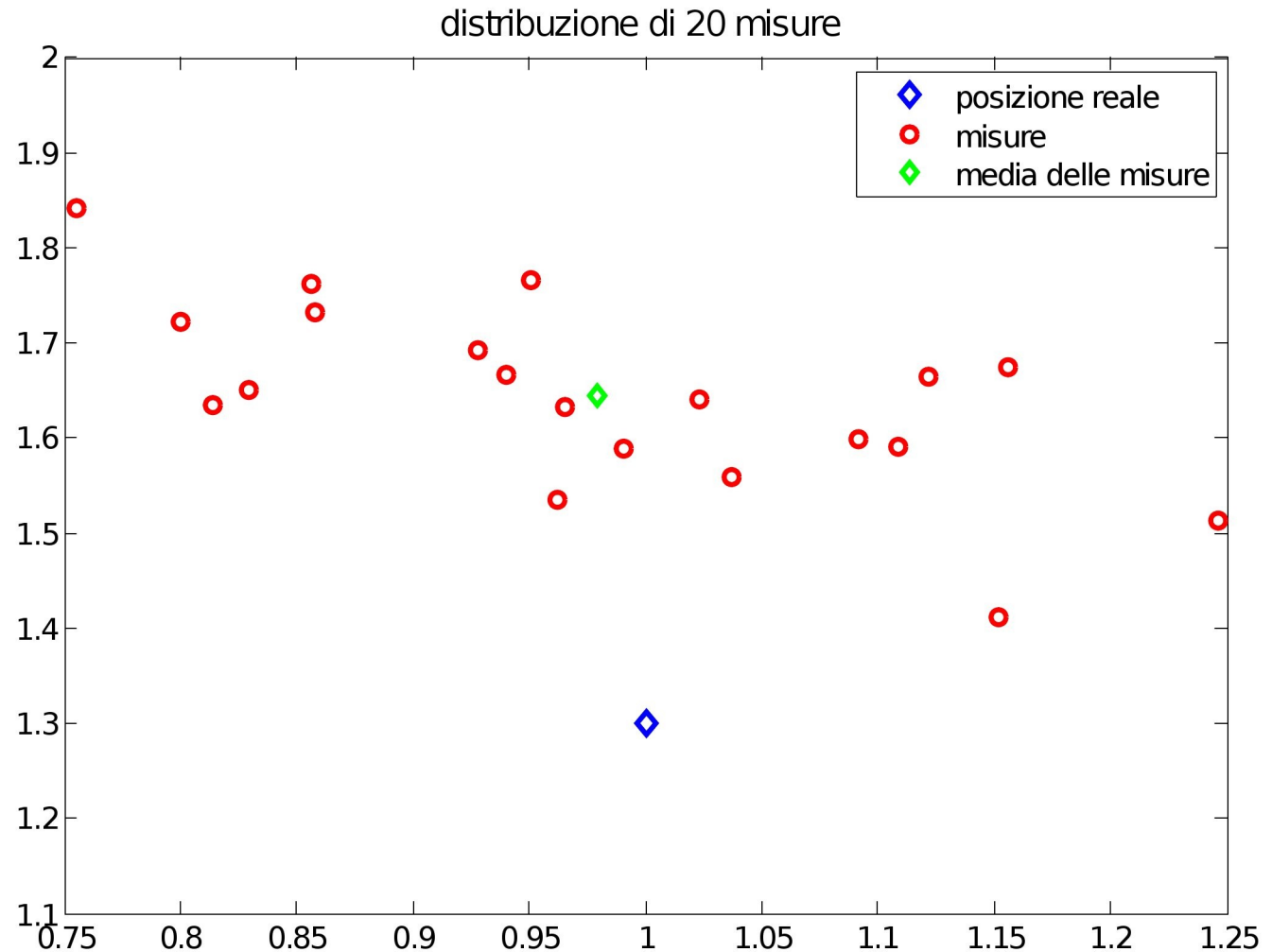
Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

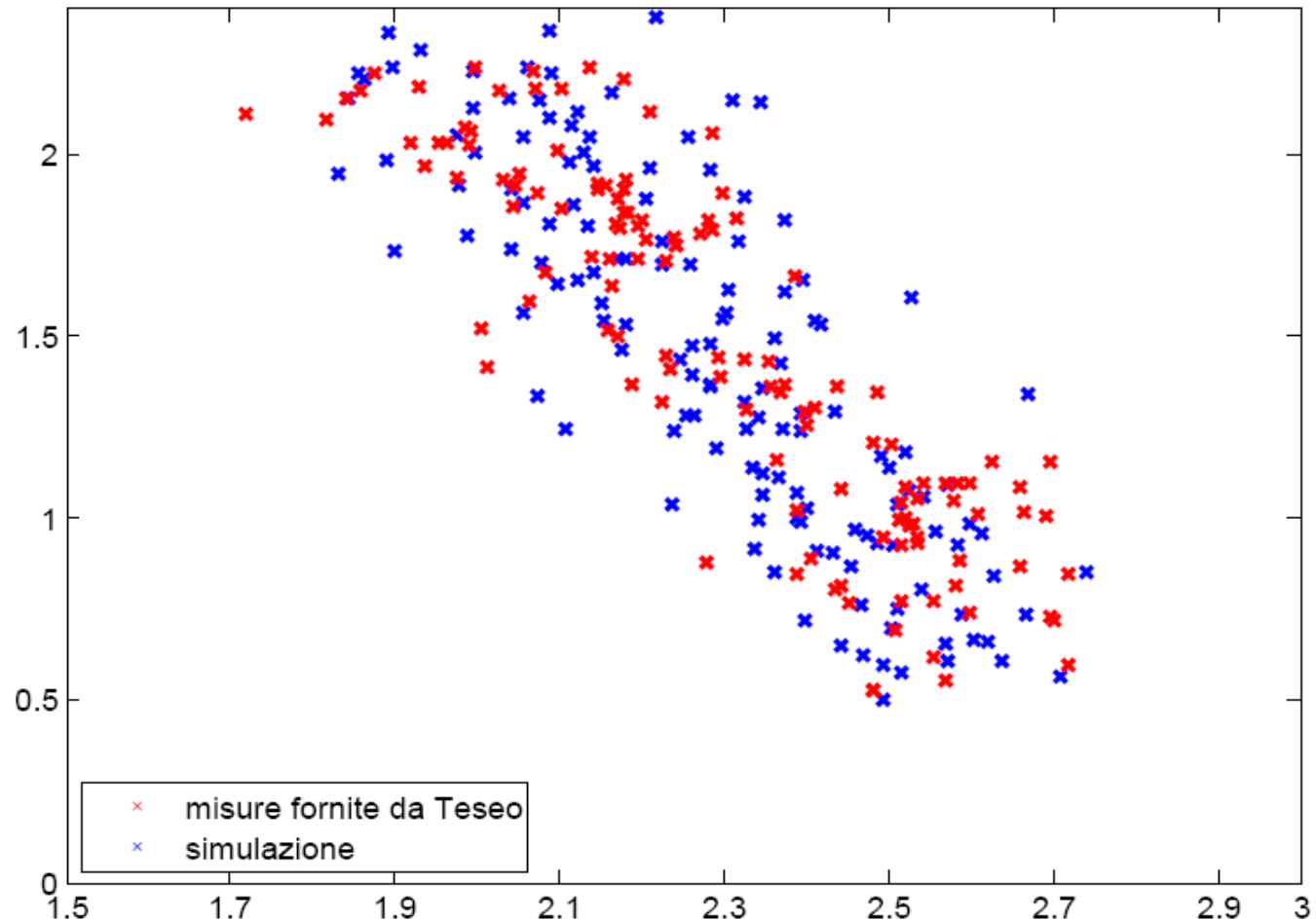


offset + rumore → Errore di 35 cm

Oltre 7 volte il
diametro dell'*ePuck*

Simuliamo Teseo sovrapponendo al modello dell'uniciclo una gaussiana di varianza $\sigma^2 = 0,3 m$

Confronto misure fornite da Teseo e simulate



Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

**Analisi dei dati
forniti da Teseo**

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

**Fase di
inizializzazione**

Schema di Controllo

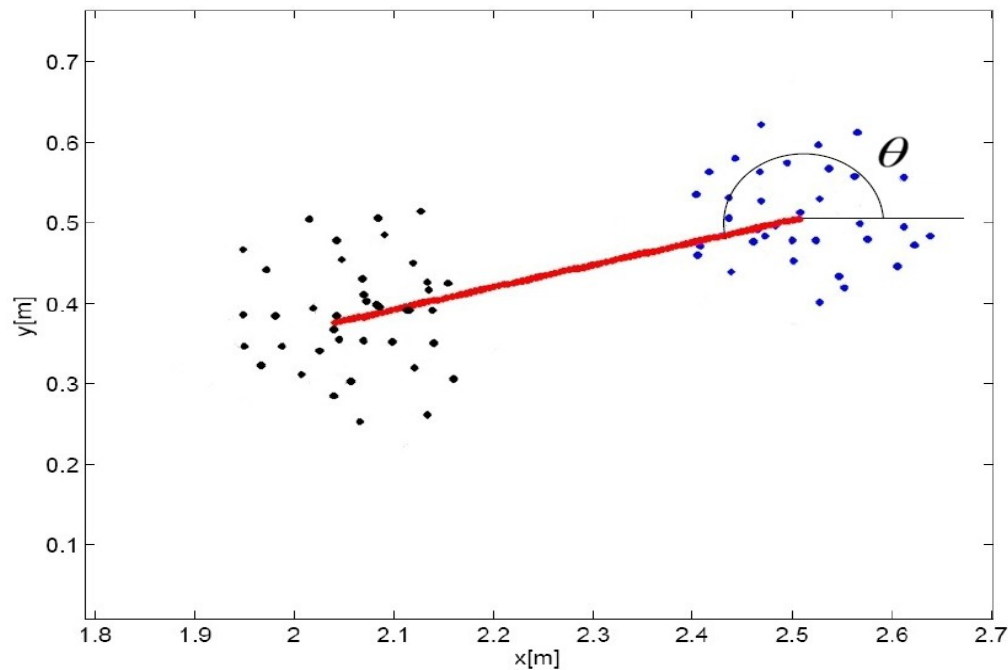
Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Fase fondamentale per la determinazione iniziale dell'orientazione dell'uniciclo:

- Si acquisisce un numero sufficiente di misure
- Si fa muovere l'*e-puck* per un tratto di 70cm
- Si acquisiscono nuovamente delle misure
- Si calcola la retta tra il punto medio della nuvola iniziale ed il punto medio di quella finale



Fase di inizializzazione

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

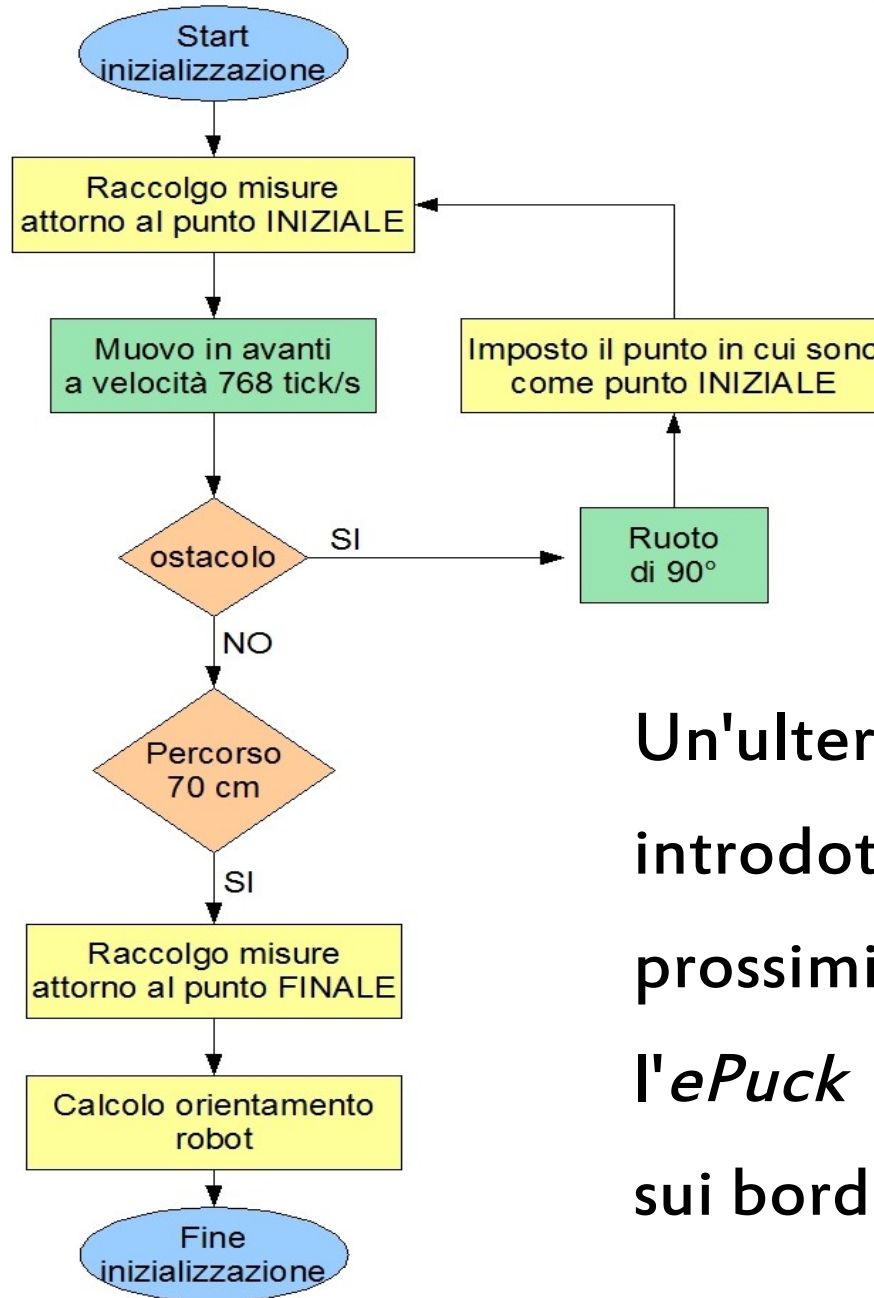
**Fase di
inizializzazione**

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri



Un'ulteriore miglioria è stata introdotta simulando i sensori di prossimità in modo tale che l'*ePuck* non andasse a sbattere sui bordi della pedana.

Schema di Controllo

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

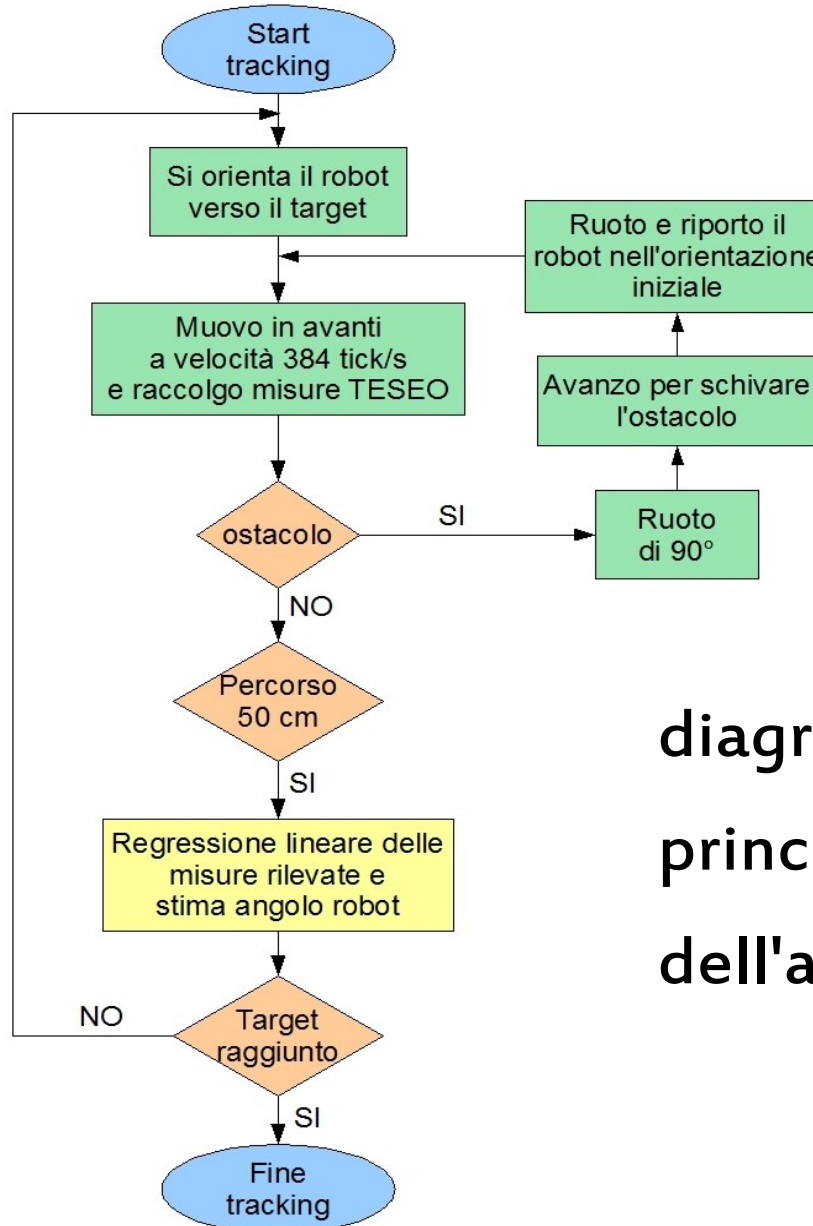


diagramma di flusso del
principio di funzionamento
dell'algorithmo di controllo



Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

- **Si comanda l'e-puck tramite traiettorie rettilinee.**
- **In questo modo si riduce l'incidenza dell'elevata incertezza sulla misura dell'angolo.**
- **Non vale il principio di separazione: stimatore e controllore non possono essere progettati separatamente.**



Schema di Controllo

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

- **Al termine del tratto rettilineo si calcola la retta di regressione sulle misure acquisite durante tale movimento.**
- **Sperimentalmente si è trovato che l'angolo di tale retta è una stima accettabile dell'angolazione effettiva del robot.**
- **Il vettore delle misure di Teseo viene così aumentato aggiungendo l'informazione dell'angolo.**



Schema di Controllo

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

- A questo punto si calcola la stima a posteriori della posizione del robot tramite l'algoritmo EKF.
- A partire da tale stima è facile determinare la traiettoria rettilinea ideale verso il target.
- Si forniscono gli ingressi di controllo così calcolati al robot in modo che percorra un nuovo tratto rettilineo.
- Essendo il controllo effettuato a velocità costante la traiettoria rettilinea minimizza la distanza e quindi anche il tempo di percorrenza

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

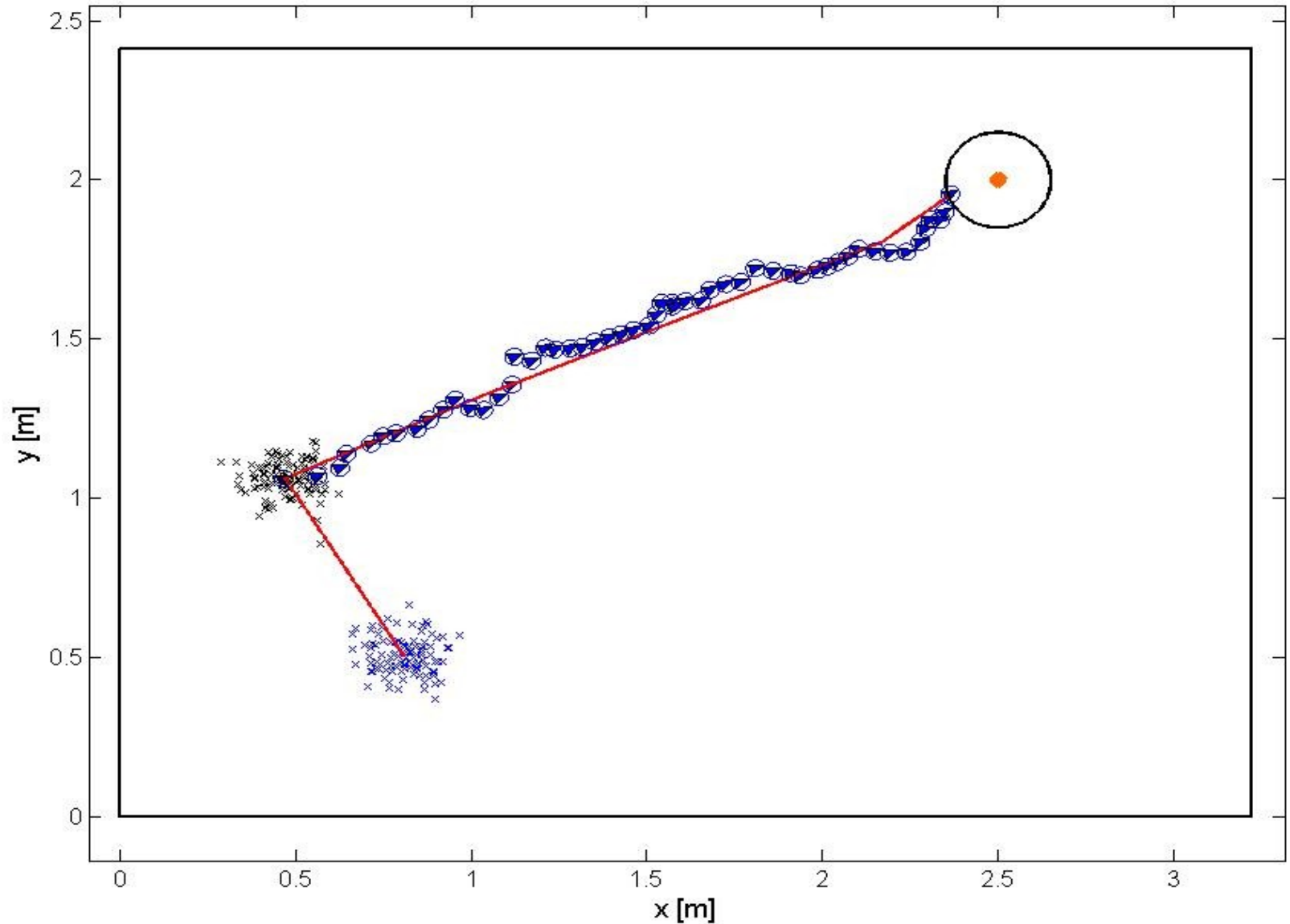
Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Simulazione complessiva, comprensiva dell'inizializzazione





Schema di Controllo

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

- Le nuvole di punti rappresentano la fase di inizializzazione in cui si acquisiscono una serie di misure da fermo.
- La retta rossa è il movimento effettivo del robot.
- I poligoni blu rappresentano il movimento stimato con l'algoritmo EKF.

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

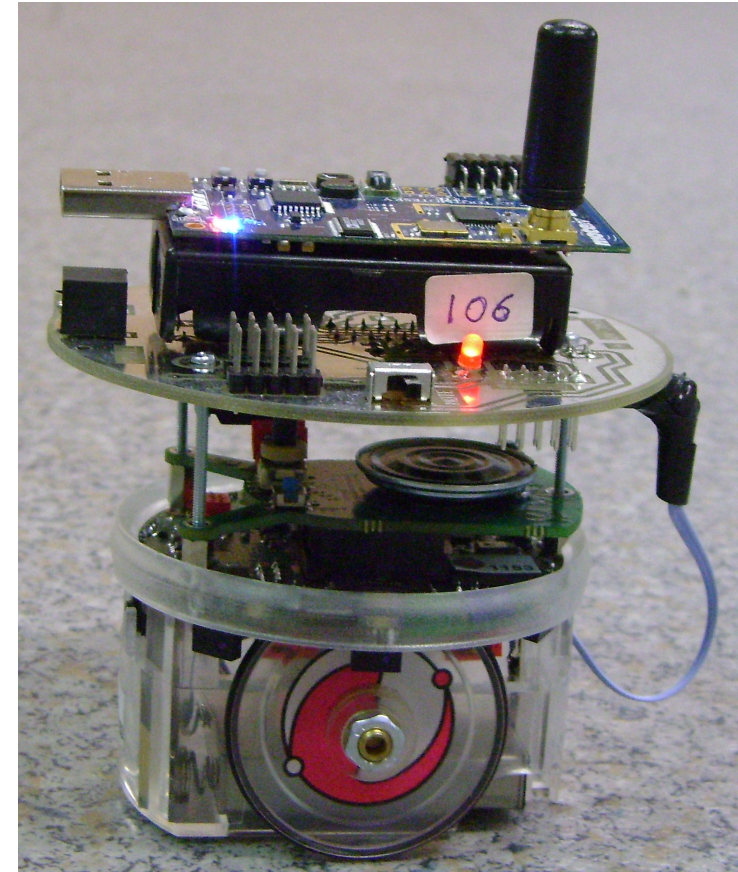
Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

- **Messa in pratica dell' algoritmo di controllo**
- **Interfaccia *Teseo-MatLab***
- **Gestione del comportamento in presenza di ostacoli**



e-puck



Prove Sperimentali

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

- La velocità da imprimere alle ruote nel tratto rettilineo è stata scelta empiricamente.
- Si è cercata la soluzione che permettesse, nel minor tempo, di ottenere un numero sufficiente di misure per una discreta interpolazione.
- Librerie MatLab disponibili su: *<http://www.epuck.org>*

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

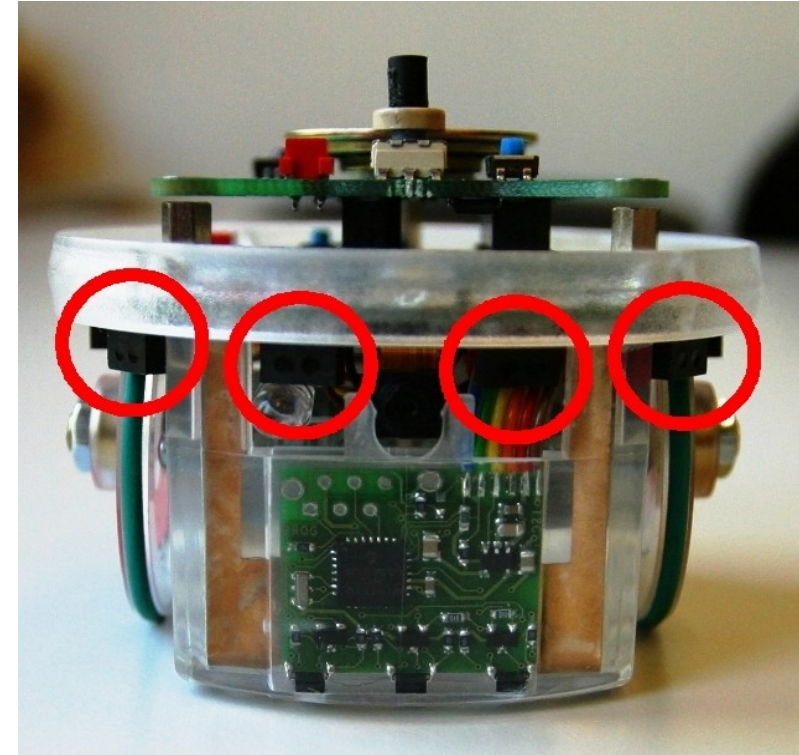
Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

- Si utilizzano i sensori di prossimità presenti sull' *e-puck* per rilevare la presenza di ostacoli
- In presenza di ostacoli il controllore arresta l'*e-puck*, lo ruota di 90° e lo muove leggermente in avanti.
- Inizia una nuova fase di localizzazione per individuare la nuova traiettoria verso il target.



sensori di prossimità

Sequenza dimostrativa di superamento di un ostacolo



Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

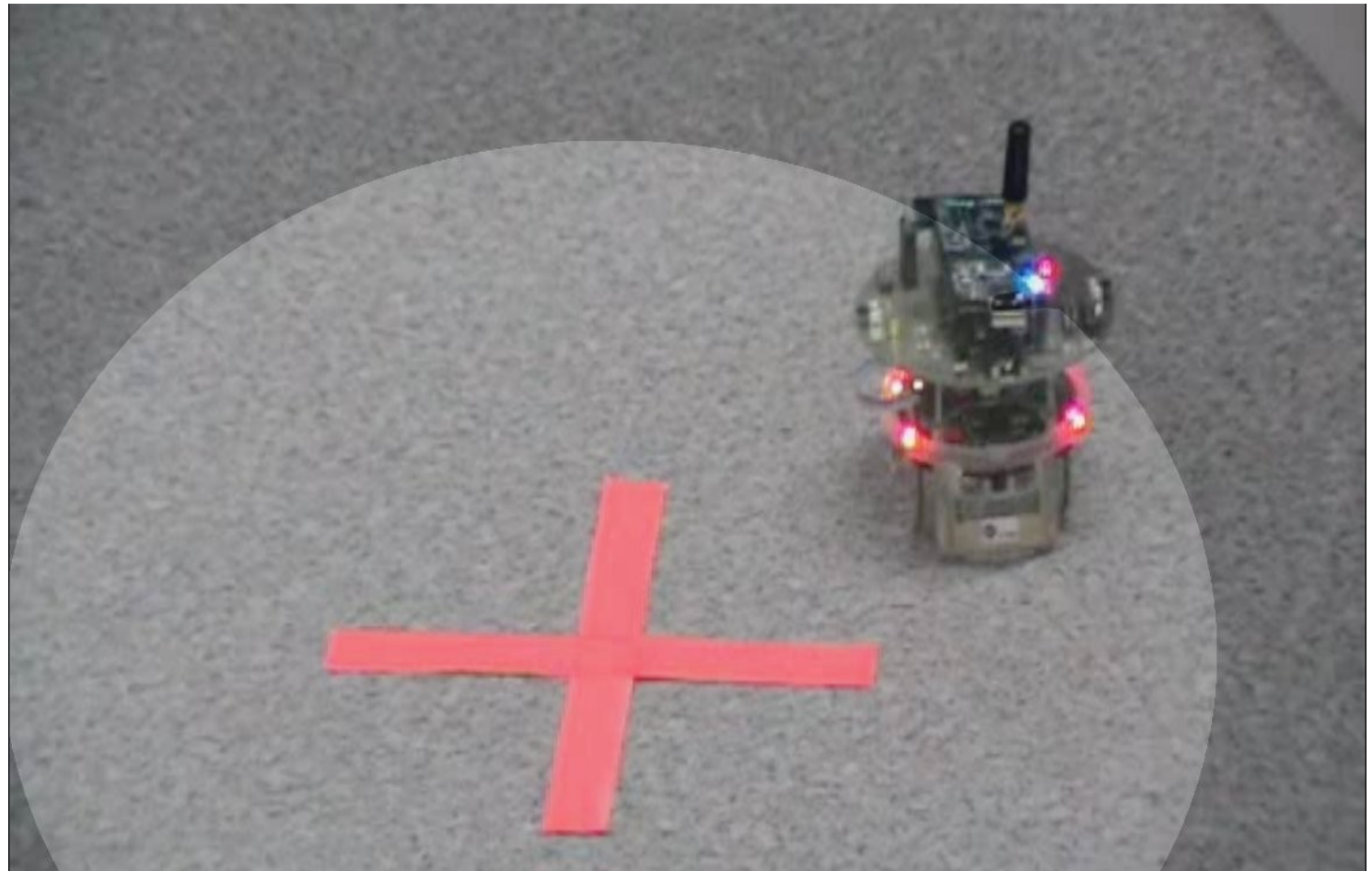
Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Target raggiunto entro la circonferenza di tolleranza fissata



Simulazione completa senza ostacoli



Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

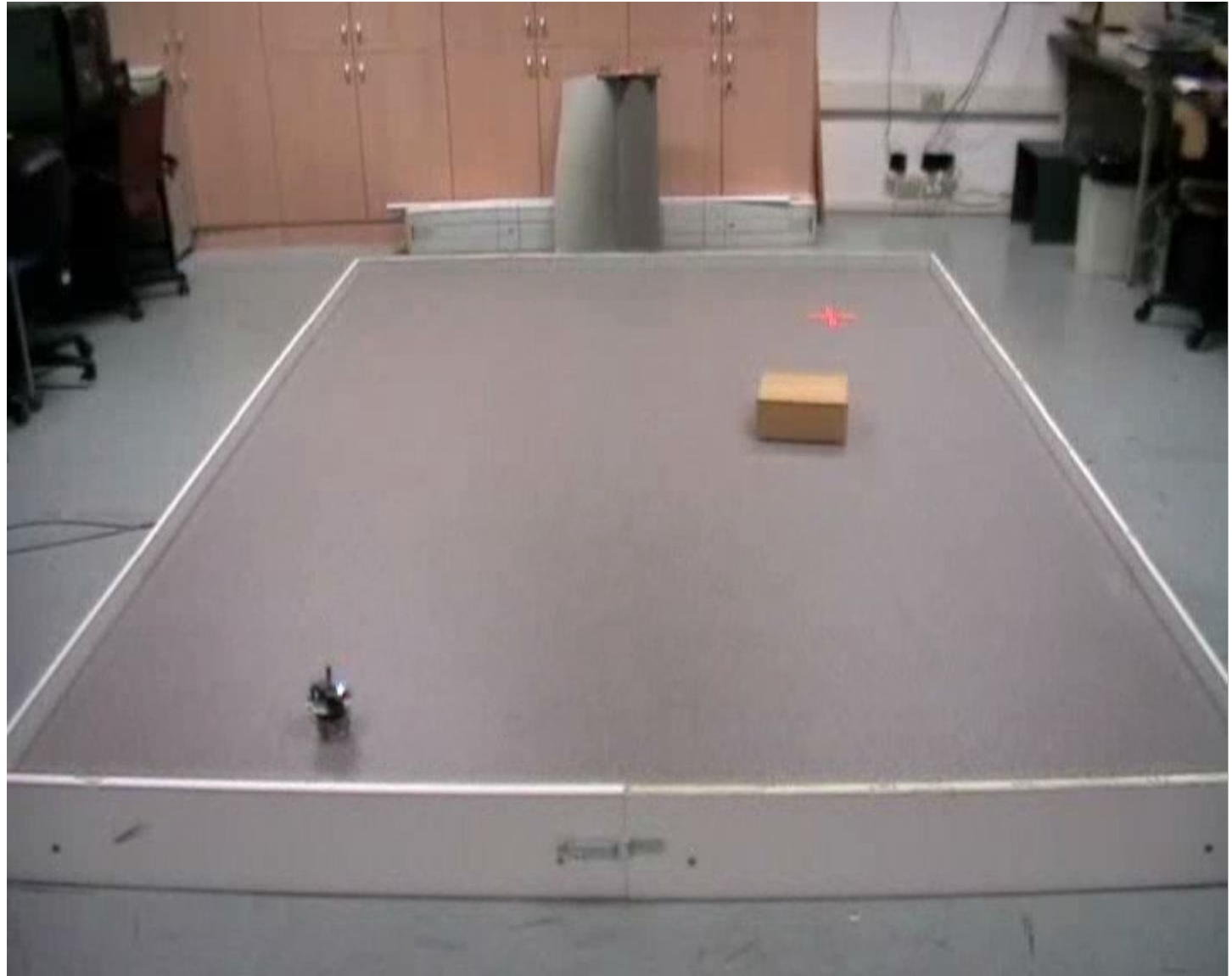
Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Simulazione completa con controllo di bordo e superamento ostacolo



Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Dettaglio superamento ostacolo



Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

- **Nonostante l'elevata incertezza delle misure ed il problema degli offset che affligge la rete WSN si è arrivati ad un risultato soddisfacente.**
- **L'algorithmo di controllo funziona sia in simulazione che nella realtà.**

Introduzione

Stato dell'arte

Modello del sistema
uniciclo

Filtro di Kalman
Esteso : EKF

Architettura del
sistema

Analisi dei dati
forniti da Teseo

Fase di
inizializzazione

Schema di Controllo

Prove Sperimentali

Conclusioni

Sviluppi futuri

Miglioramento del software di localizzazione

- Diminuizione del tempo di interarrivi misure dal campo
- Applicazione dell'algoritmo di *consensus* al Teseo
- Eliminazione degli offset

Miglioramento delle traiettorie

- Curve di raggio minimo

Rendere più indipendente la struttura

- Implementazione della localizzazione e/o del controllo direttamente sul robot o sul mote in modo tale da