



# Sviluppo di sistemi di controllo su piattaforma LEGO Mindstorms

Candidati:

Iacopo Finocchi

Niccolò Monni

Relatore:

Ing. Michele Basso

Correlatori:

Dott. Franco Quercioli

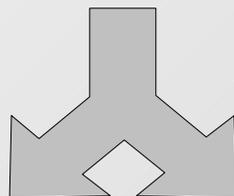
Dott. Massimo Vassalli



# Contesto

Questa tesi si è svolta presso il Consiglio Nazionale delle Ricerche, nei laboratori dell' Istituto Sistemi Complessi.

## Obiettivi



Analizzare e testare le effettive potenzialità del nuovo sistema LEGO Mindstorms NXT

Effettuare esperimenti di controllo interfacciando il LEGO NXT con un PC esterno.



# Perché NXT?

- E' un dispositivo economico
- E' diffuso in molti laboratori di didattica/ricerca a livello internazionale, data la sua flessibilità e semplicità di utilizzo.
- Risalta le caratteristiche degli algoritmi di controllo che devono sopperire alle carenze tecniche della struttura e dei sensori.



# Mindstorms RCX



# Mindstorms NXT



# Mindstorm NXT

- 4 sensori e 3 attuatori nel kit base
- Processore a 32bit, classe ARM7 (multitasking)
- 256Kb di memoria flash
- 64Kb RAM
- Connettività bluetooth
- Porta USB 2.0

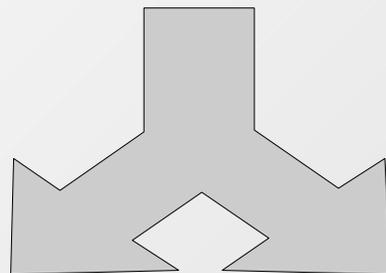


# Sensori

Rotazione



- Scarsa sensibilità (circa 22 gradi)
- Difficoltà di unione con i nuovi componenti LEGO
- Unico sensore di rotazione a disposizione



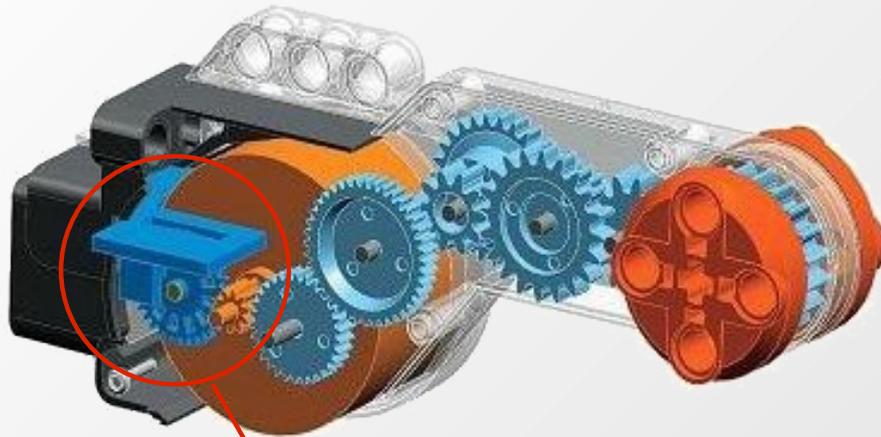
Luce



- Buona sensibilità
- Collegamenti semplici
- Molto influenzato dai disturbi esterni (luce solare, neon, etc)



# Attuatori



- Velocità massima funzione del carico applicato, a vuoto 160 giri/min
- Coppia massima 24 Ncm



Encoder

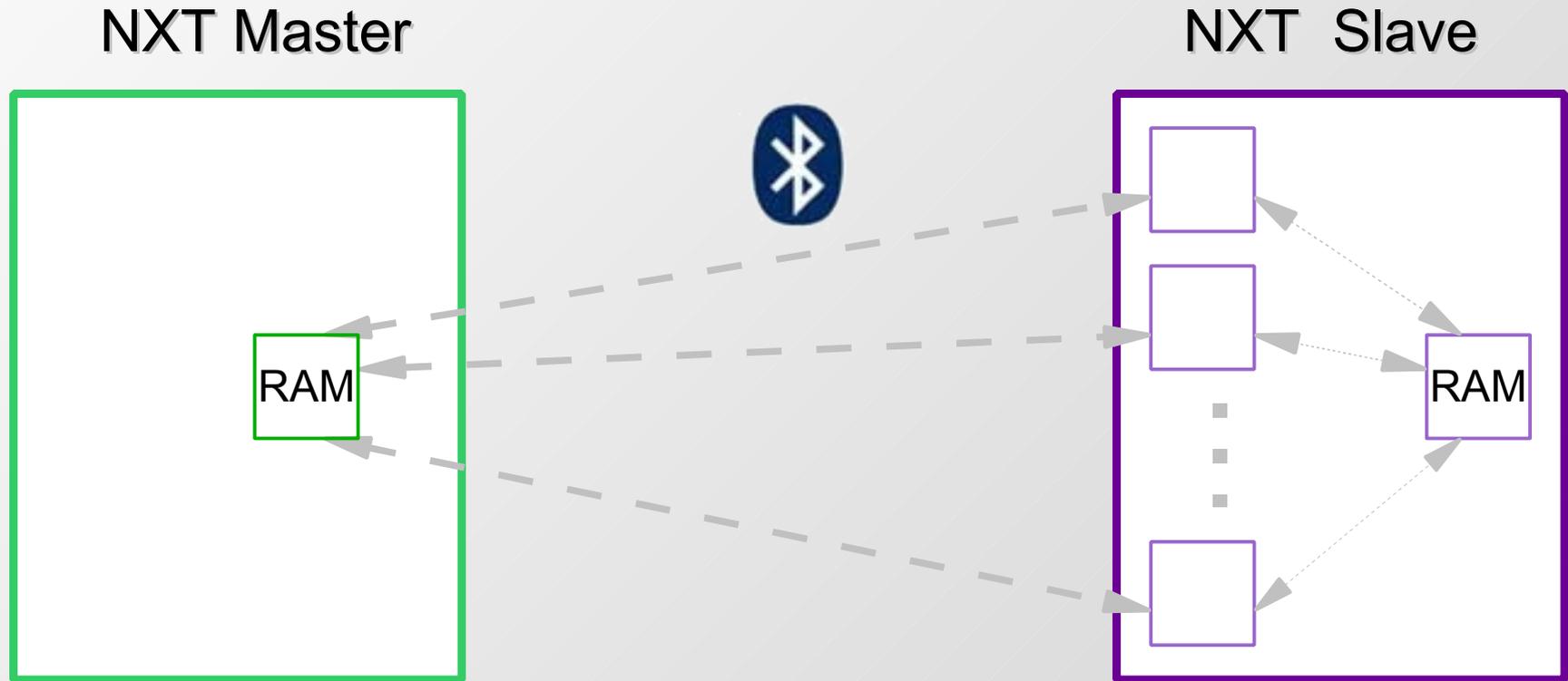
- L'encoder presente nel motore, è l'unico sensore di rotazione ufficiale disponibile per l'NXT



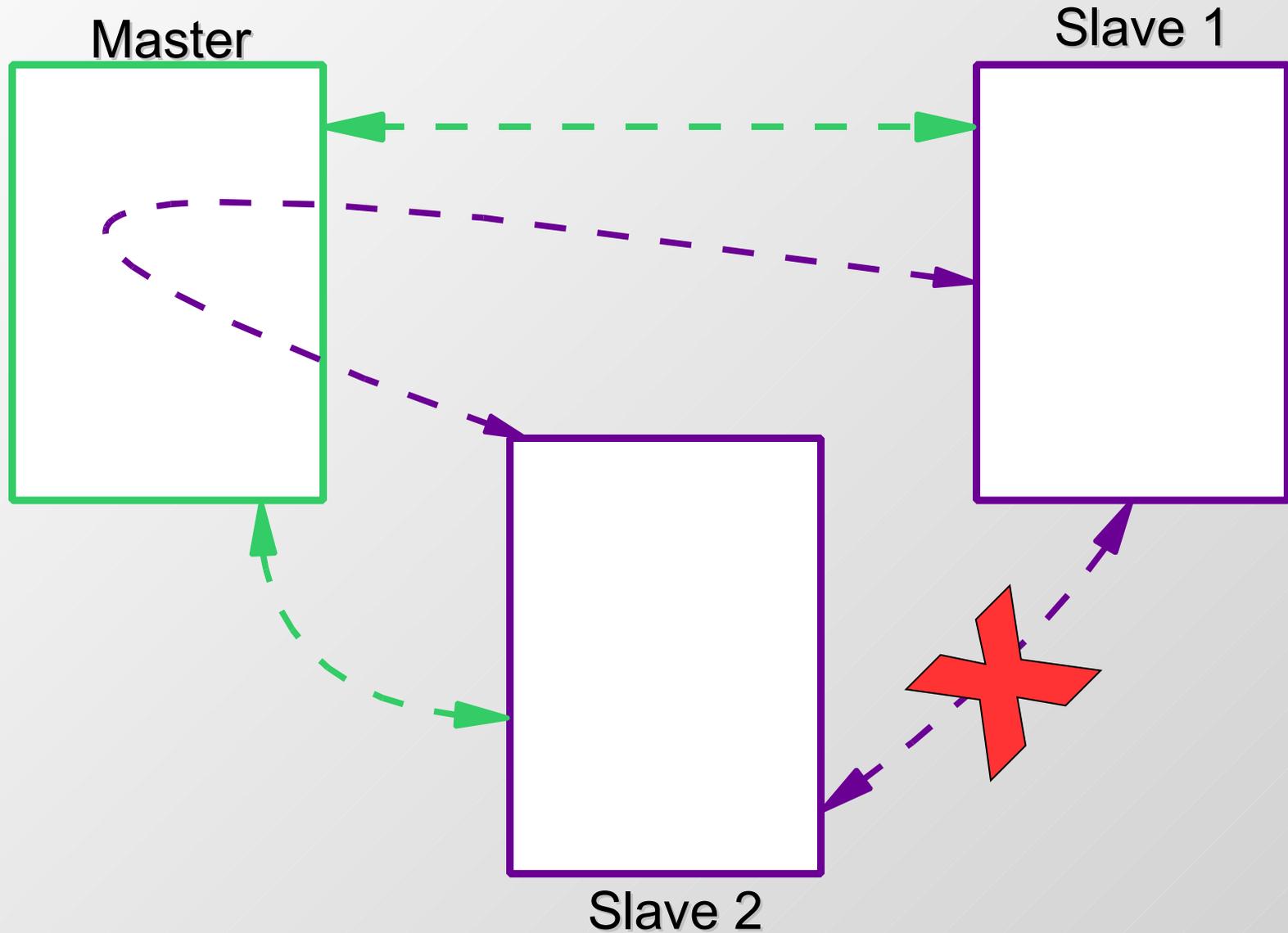
# Comunicazione NXT-PC



# Comunicazione NXT-NXT

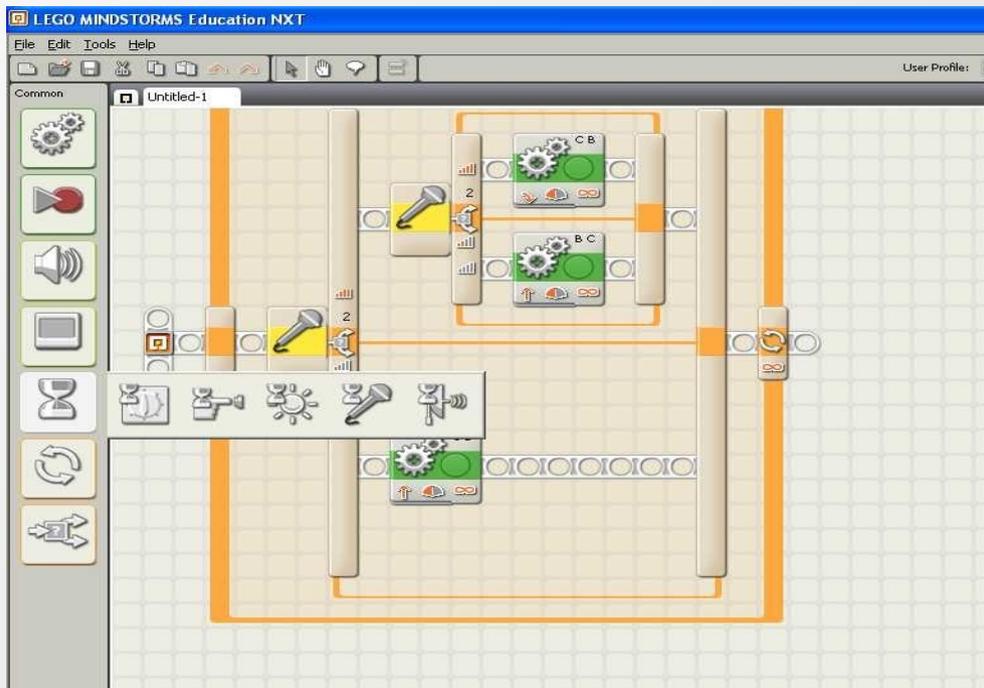


# Comunicazione NXT multipli



# Software

Analisi dei software disponibili (proprietary e open-source)



## Lego NXTG

### Vantaggi

Grafico

Intuitivo

### Svantaggi

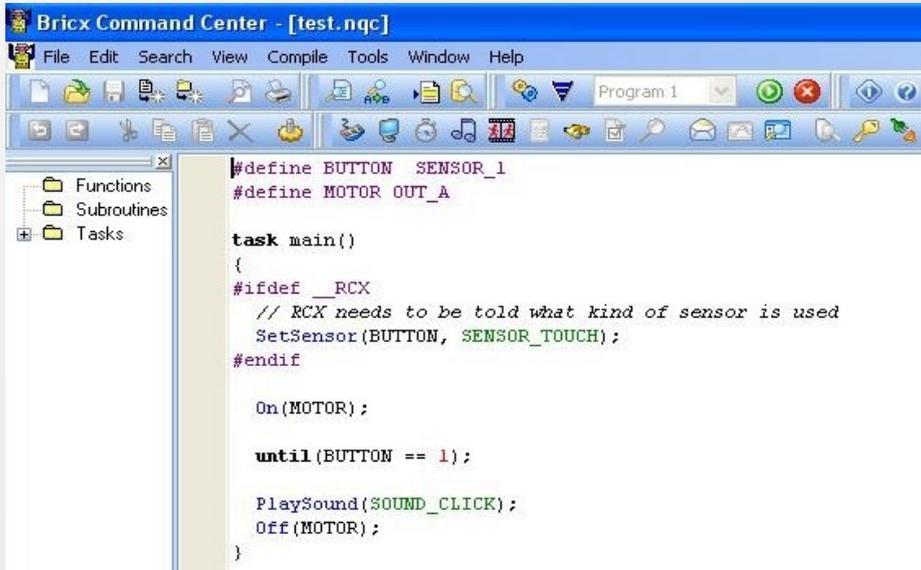
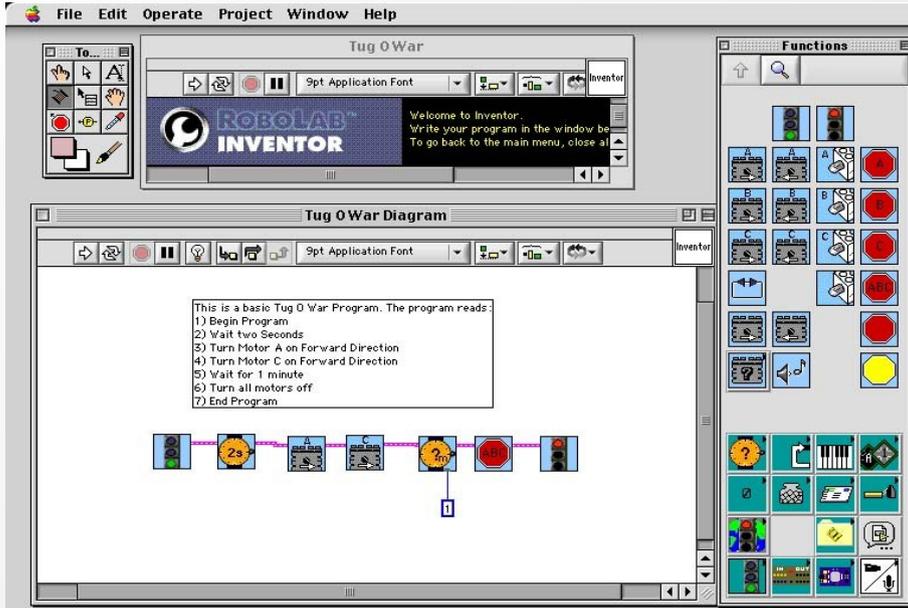
Elavata dimensione dei file prodotti

Libertà di programmazione limitata

Crescita della difficoltà di programmazione con l'aumento dei comandi



# Software



## Robolab

Vantaggi	Svantaggi
Grafico	Non è open-source
Programmazione ad un livello superiore rispetto all'NXTG	
Proprio firmware	

## Linguaggio NXC

Vantaggi	Svantaggi
Programmazione ad un livello superiore	Non grafico
Multiplatforma	
Open-source	
Derivato dal linguaggio C	



# Software

Le specifiche per un utilizzo avanzato sono:



Velocità  
d'esecuzione  
del programma

Possibilità di  
scrittura ad un  
livello avanzato

Adozione  
filosofia  
open-source

Dimensioni  
ridotte del file  
prodotto

## Linguaggio NXC



# Esperimenti svolti

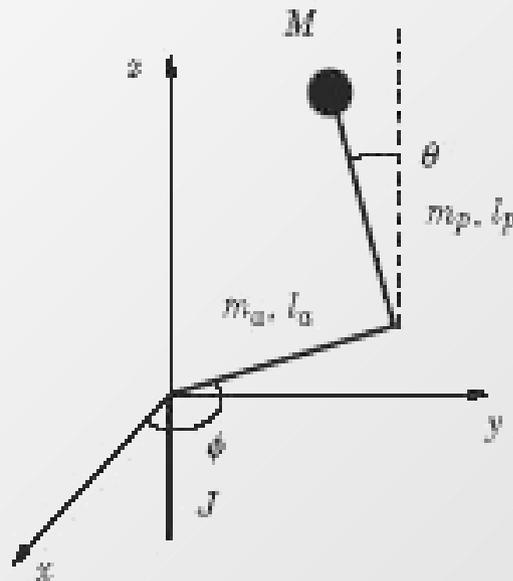
## Pendolo di Furuta



## Legway



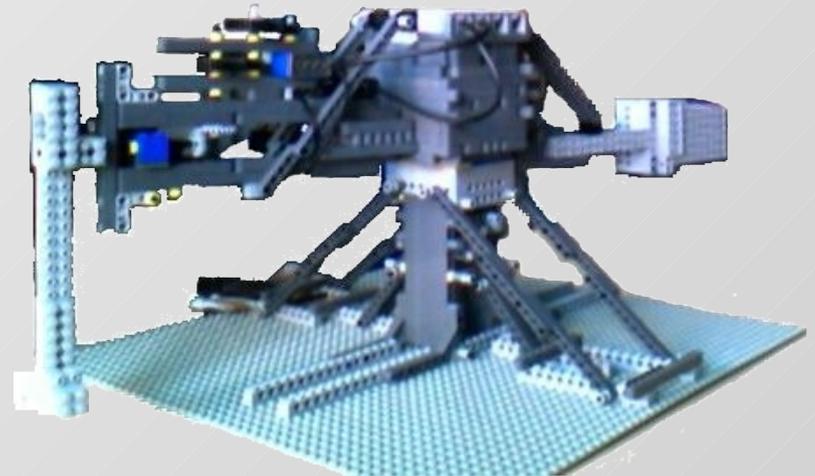
# Pendolo di Furuta



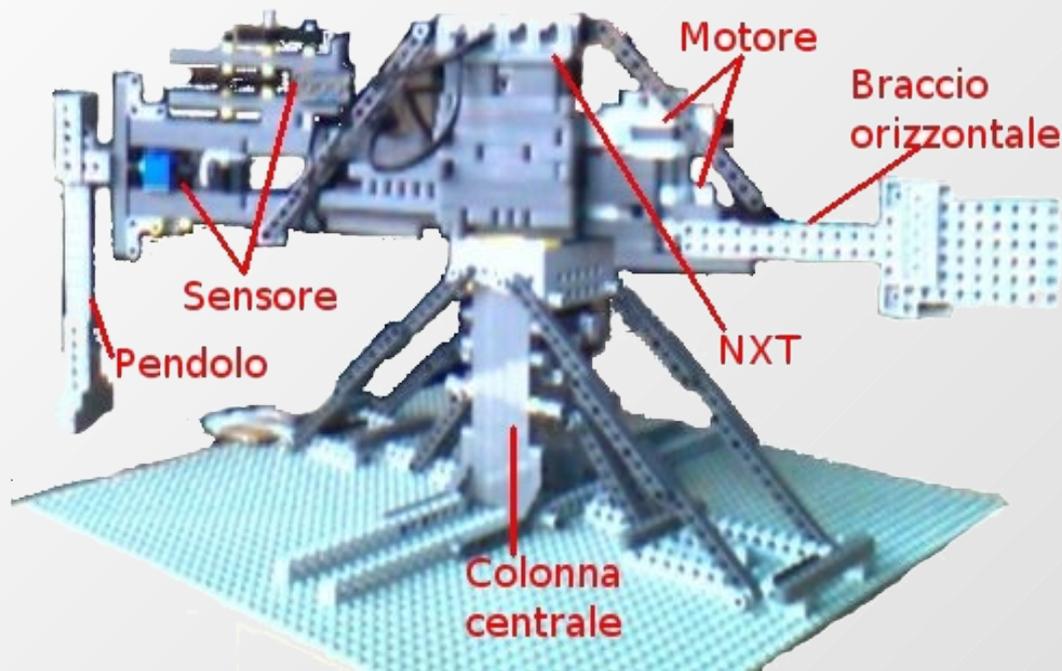
Un particolare tipo di pendolo inverso, presente in alcuni laboratori di Santa Marta

Caratteristiche:

- Comportamento intuitivo
- Controllo non banale



# Pendolo di Furuta



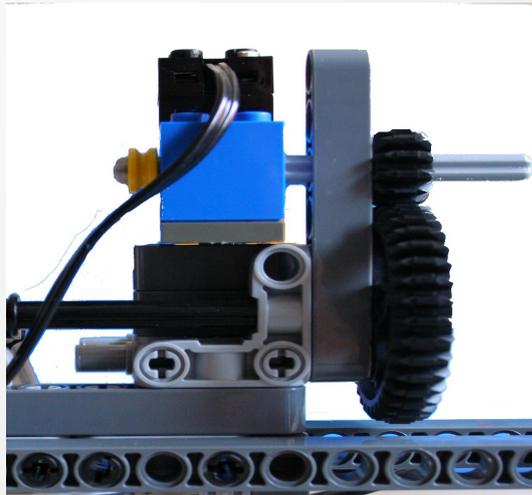
Problematiche della struttura:

- Masse in gioco non trascurabili
- Collegamenti non rigidi
- Torsione della colonna centrale
- Instabilità meccanica
- Sensori inadatti, installazione complessa



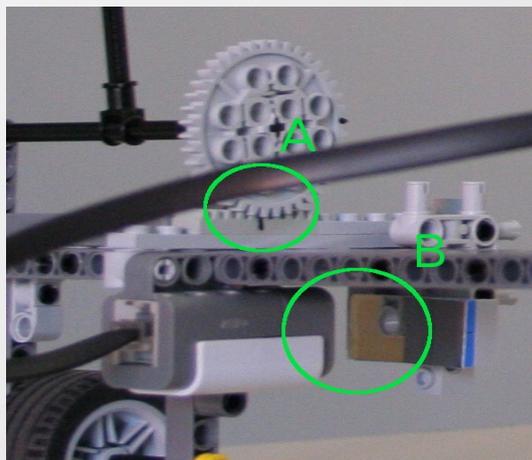
# Sensori

Si cercano accorgimenti per ovviare a queste carenze tecniche:



## Prima soluzione

- Sistemi di ruote dentate per aumentare la sensibilità del trasduttore.
- Sistemi per il collegamento del sensore



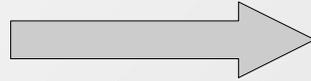
## Seconda soluzione

- Accoppiamento ruota dentata-cremagliera, per rendere rettilineo il movimento del pendolo (A)
- Sistemi di specchi per poter sfruttare il sensore di luce (B)



# Pendolo di Furuta

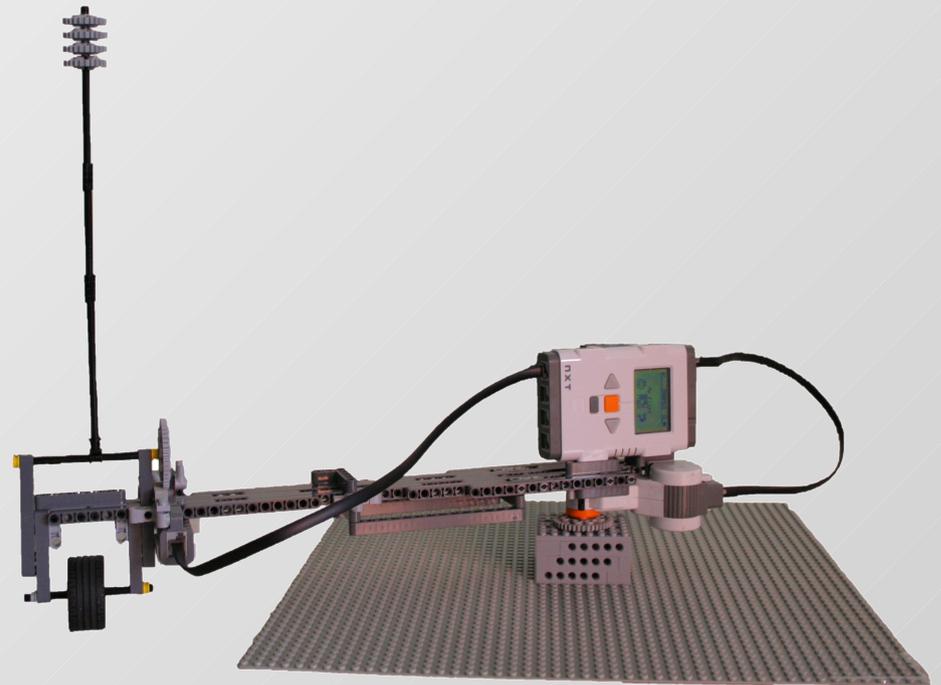
Carenze meccaniche



Nuova struttura

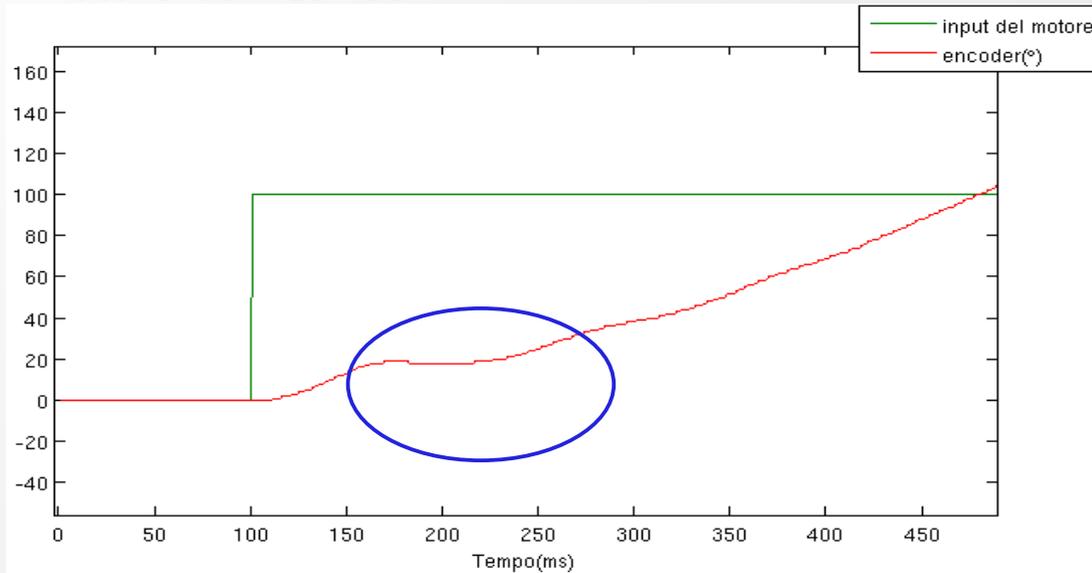
Caratteristiche:

- Più leggera e reattiva
- Assenza della flessione verticale del braccio
- Impossibilitata la rotazione completa del pendolo
- Assenza di una flessione evidente degli elementi
- Dinamica modificabile in funzione della altezza della massa

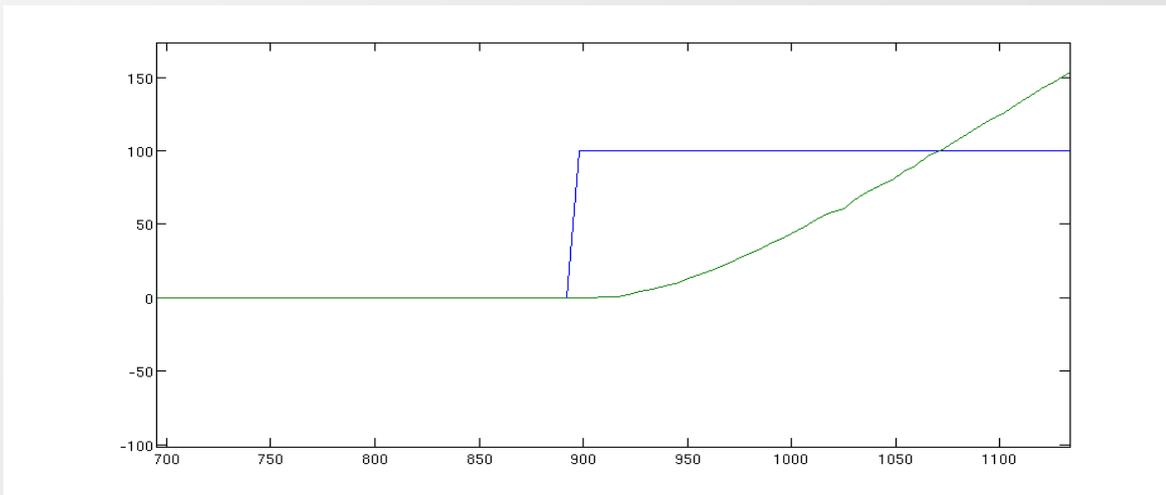


# Pendolo di Furuta

Motore con carico



Motore libero



La presenza di fenomeni non modellati rende instabile la struttura



Abbandono del progetto





# Sviluppo di sistemi di controllo su piattaforma LEGO Mindstorms

Candidati:  
Iacopo Finocchi  
Niccolò Monni

Relatore:  
Ing. Michele Basso

Correlatori:  
Dott. Franco Quercioli  
Dott. Massimo Vassalli



# Legway



Il nome deriva dall'unione delle parole LEGO e Segway, il mezzo di trasporto di recente diffusione.

Il controllo consiste nel mantenere il robot in posizione di equilibrio instabile su due ruote.



# Vantaggi

- Tipologia di controllo simile a quella del pendolo di Furuta
- Dinamica più semplice
- Struttura più compatta e rigida



# Problematiche

- Misurazione affidabile dell'angolo di inclinazione, non eseguibile attraverso l'encoder delle ruote
- Evitare velocità elevate sul piano

## Obiettivo aggiuntivo:

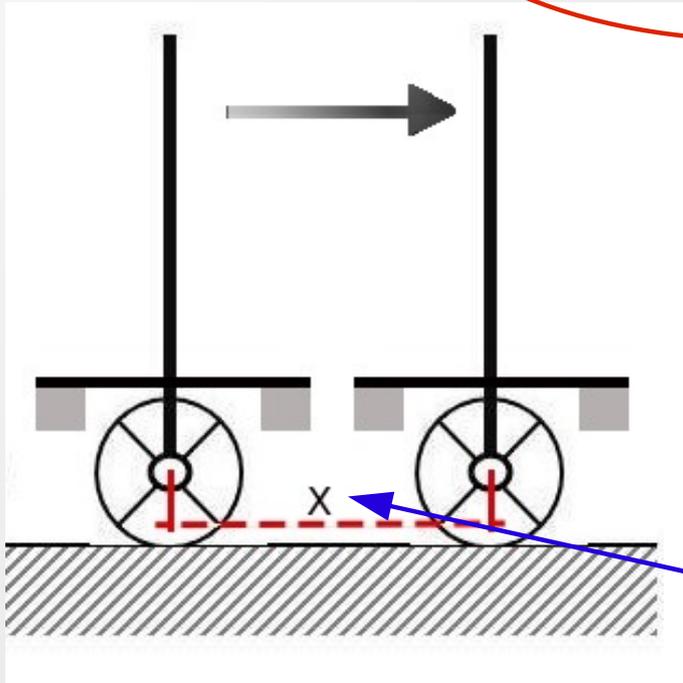
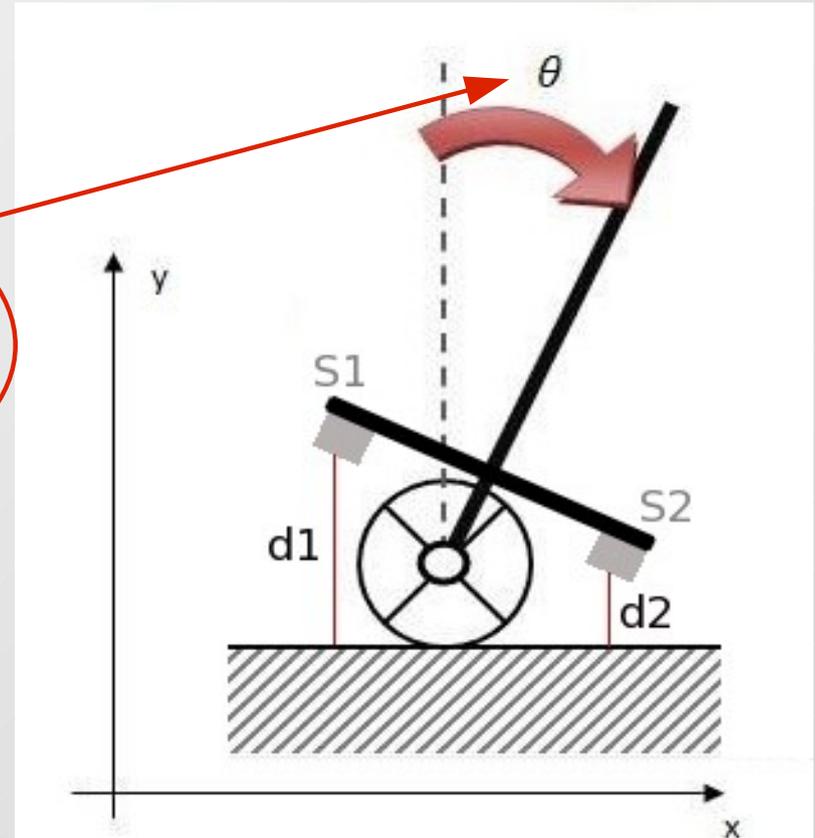
- Controllo remoto



# Variabili di stato

Lo stato del sistema è definito dalle variabili  $\theta, \dot{\theta}, x, \dot{x}$

Angolo di inclinazione  
calcolato con la lettura  
differenziale dei sensori  
S1 e S2



Spostamento sul piano,  
determinato tramite  
lettura dell'encoder delle  
ruote



# Ricostruzione dello stato

**Angolo di inclinazione:**  
si utilizzano i sensori di luce montati in modo differenziale per migliorare la linearità

$$\theta_k = S1_k - S2_k$$

**Velocità angolare:**  
rapporto incrementale dell'angolo calcolato rispetto al tempo

$$\dot{\theta}_k = \frac{\theta_k - \theta_{k-1}}{T}$$

**Filtro sul rapporto incrementale:**  
per diminuire l'influenza del rumore

$$\dot{\theta}_k = \alpha \cdot \dot{\theta}_{k-1} + (1 - \alpha) \cdot \dot{\theta}_k$$

**Spostamento sul piano:**  
si utilizzano gli encoder interni ai motori, trascurando l'inclinazione

$$x_k = r \cdot \phi_k$$

$$x_k = \frac{x_k^{(l)} + x_k^{(r)}}{2}$$

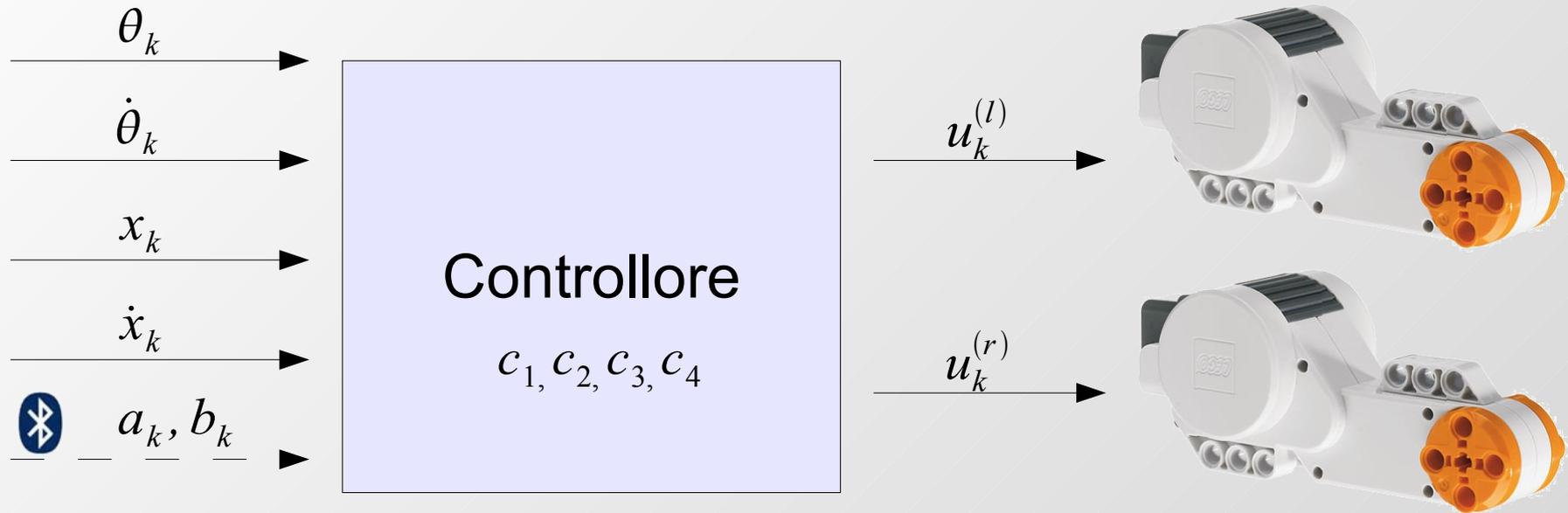
**Velocità sul piano:**  
rapporto incrementale dello spostamento calcolato rispetto al tempo

$$\dot{x}_k = \frac{x_k - x_{k-1}}{T}$$

**Filtro sul rapporto incrementale:**  
per evitare che le variazioni di inclinazione incidano sulla velocità

$$\dot{x}_k = \beta \cdot \dot{x}_{k-1} + (1 - \beta) \cdot \dot{x}_k$$

# Software di controllo



Controllore:

$$u_k = c_1 \cdot \theta_k + c_2 \cdot \dot{\theta}_k + c_3 (x_k + a_k) + c_4 \cdot \dot{x}_k$$

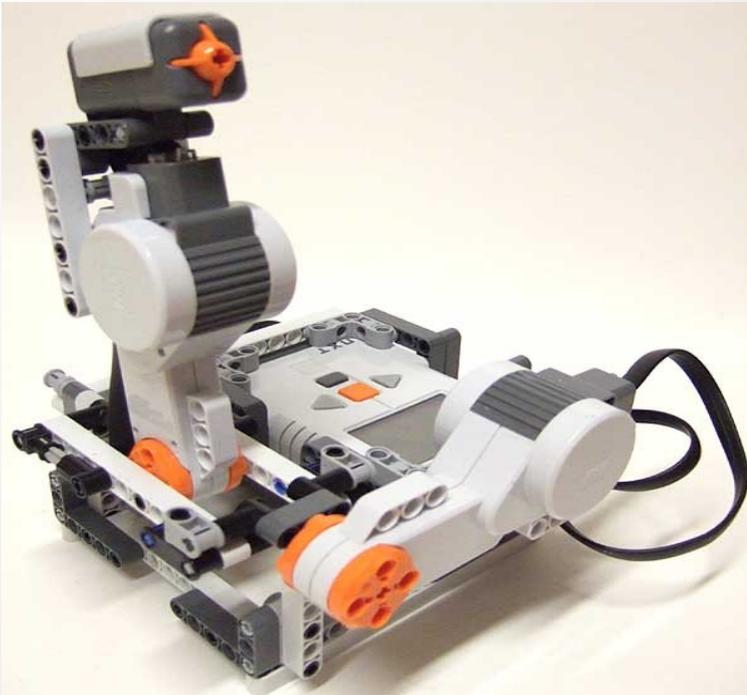
$$u_k^{(l)} = u_k + b_k$$

$$u_k^{(r)} = u_k - b_k$$



# Joystick

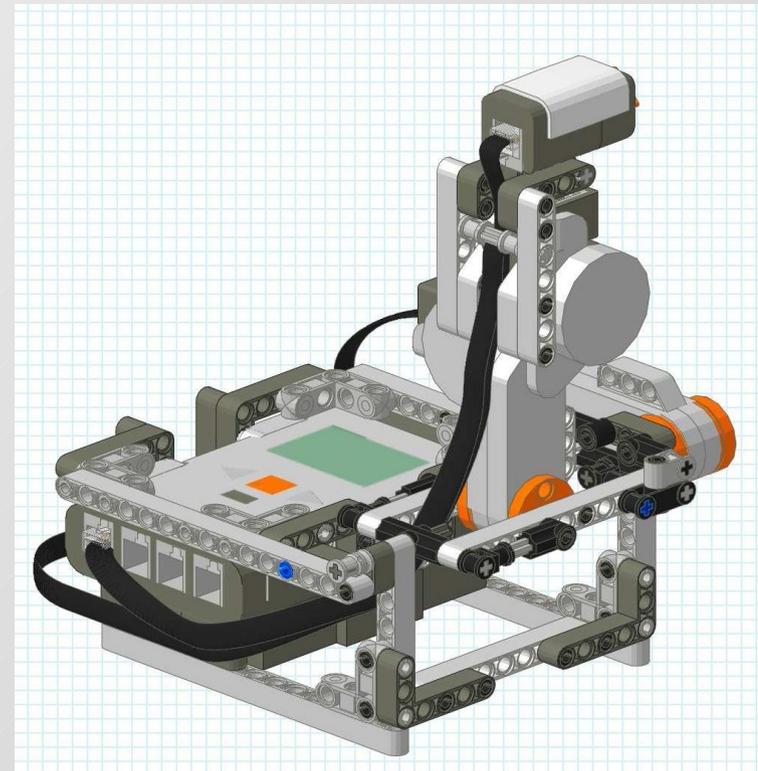
## Controllo del movimento del Legway



### Caratteristiche:

→ Comunicazione bluetooth con il Legway

- Lettura di due rotazioni tramite encoder dei motori
- Possibilità di aggiungere funzioni, tramite pulsanti.



# Generazione dei comandi nel joystick

## Segnale *a*:

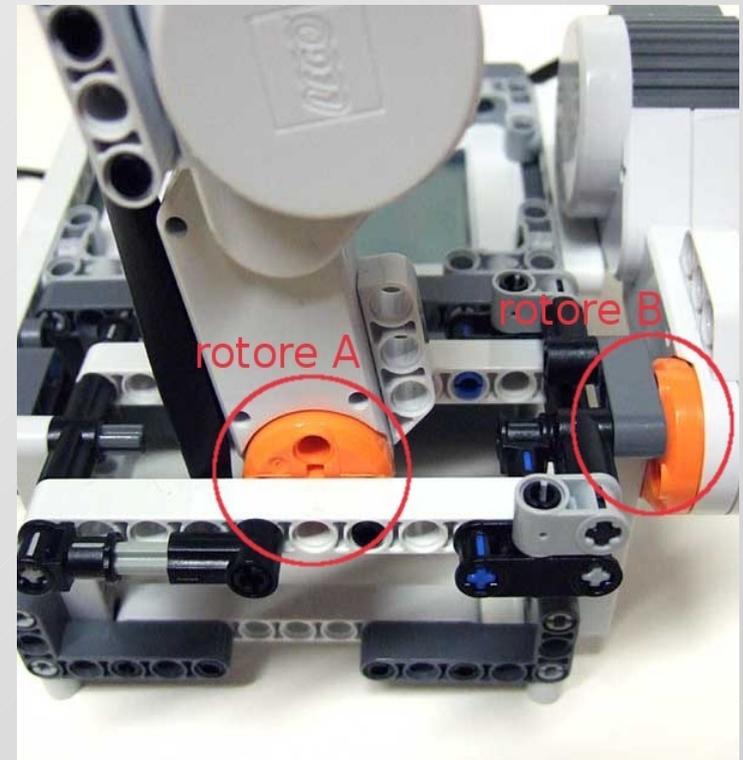
generato con un algoritmo incrementale, con incremento proporzionale alla posizione del rotore A

## Segnale *b*:

generato proporzionalmente alla posizione del rotore B

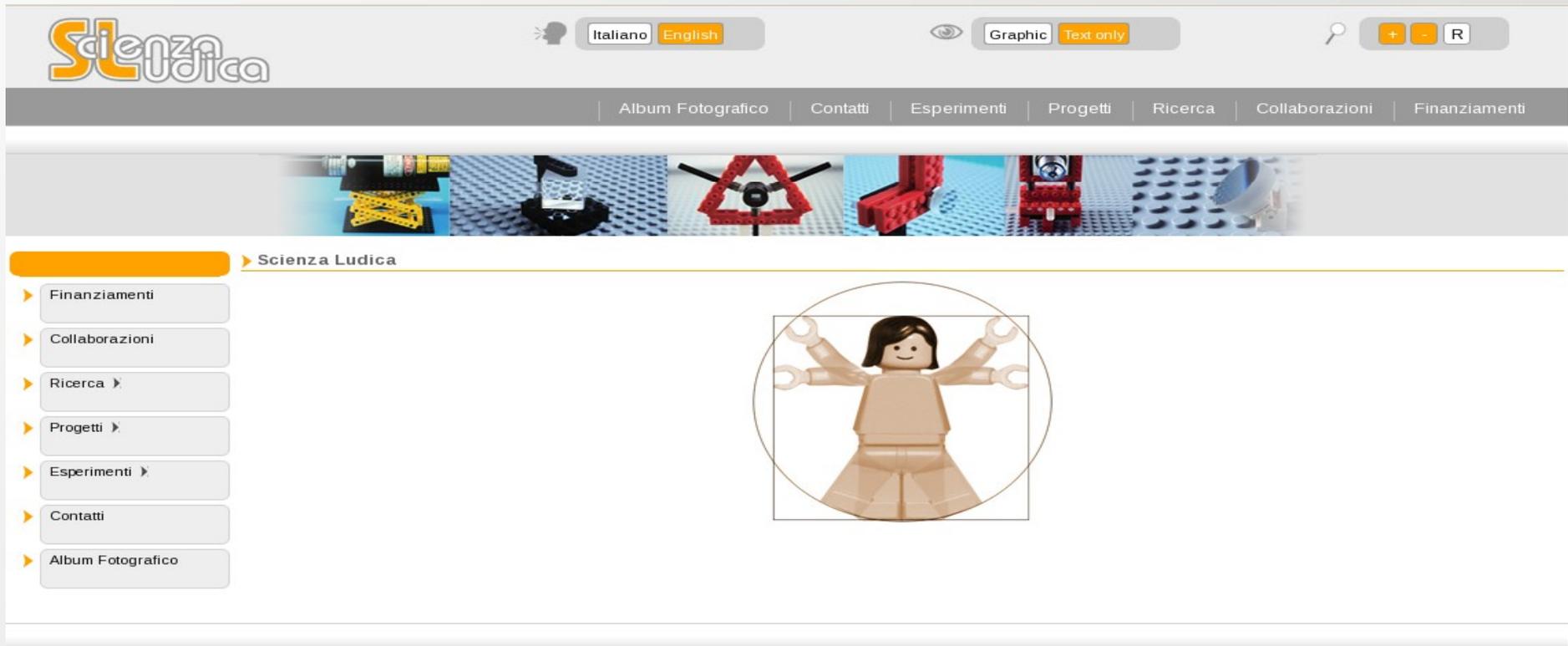
## Feedback sui rotori:

il motori generano una coppia che tende a riportarli in posizione iniziale (effetto molla del joystick)



# Scienza Ludica

L'Istituto Sistemi Complessi ha creato il sito Scienza Ludica, dove vengono raccolti tutti gli esperimenti sviluppati con il LEGO



The screenshot shows the website's header with the 'Scienza Ludica' logo on the left. In the center, there are language selection buttons for 'Italiano' and 'English', and a 'Graphic Text only' accessibility option. On the right, there is a search icon and a 'R' button. Below the header is a navigation menu with links for 'Album Fotografico', 'Contatti', 'Esperimenti', 'Progetti', 'Ricerca', 'Collaborazioni', and 'Finanziamenti'. A horizontal banner displays several images of LEGO-based experiments, including a microscope, a red triangular structure, and a red robot-like assembly. On the left side, there is a vertical menu with a 'Scienza Ludica' header and several sub-menu items: 'Finanziamenti', 'Collaborazioni', 'Ricerca', 'Progetti', 'Esperimenti', 'Contatti', and 'Album Fotografico'. In the center of the page, there is a circular graphic of a tan-colored LEGO minifigure with its arms raised, mimicking Leonardo da Vinci's Vitruvian Man.

Scienza Ludica è un progetto  
ISC - Istituto Sistemi Complessi del CNR



[www.scienzaludica.it](http://www.scienzaludica.it)

# Obbiettivi Futuri

- Creare connessioni multiple di più robot, capaci di interagire tra loro.
- Interfacciare l'NXT con Matlab e Simulink al fine di creare esperimenti real time con modalità corrispondenti a quelle dei laboratori di Santa Marta di automatica.
- Utilizzo di Mindstorms nei laboratori didattici universitari per lo sviluppo di sistemi di controllo

