

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRENTO

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCATRONICA



SVILUPPO E VALIDAZIONE SPERIMENTALE DI ALGORITMI DI LOCALIZZAZIONE E CONTROLLO DI UN VEICOLO AUTONOMO

Relatore:

Prof. FRANCESCO BIRAL

Correlatore:

MATTEO RAGNI

Candidato:

JACOPO MOLINAROLI

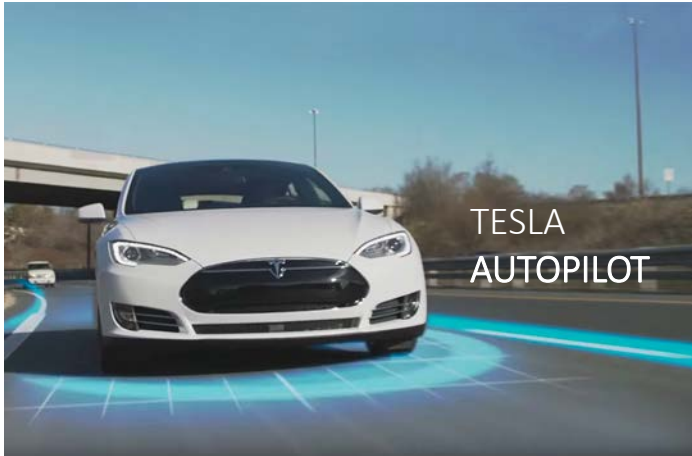
Indice

1. Obiettivi
2. Il veicolo eRumby
3. Architettura software del veicolo
4. Ricostruzione dello stato del veicolo
5. Prove svolte
6. Sviluppi futuri





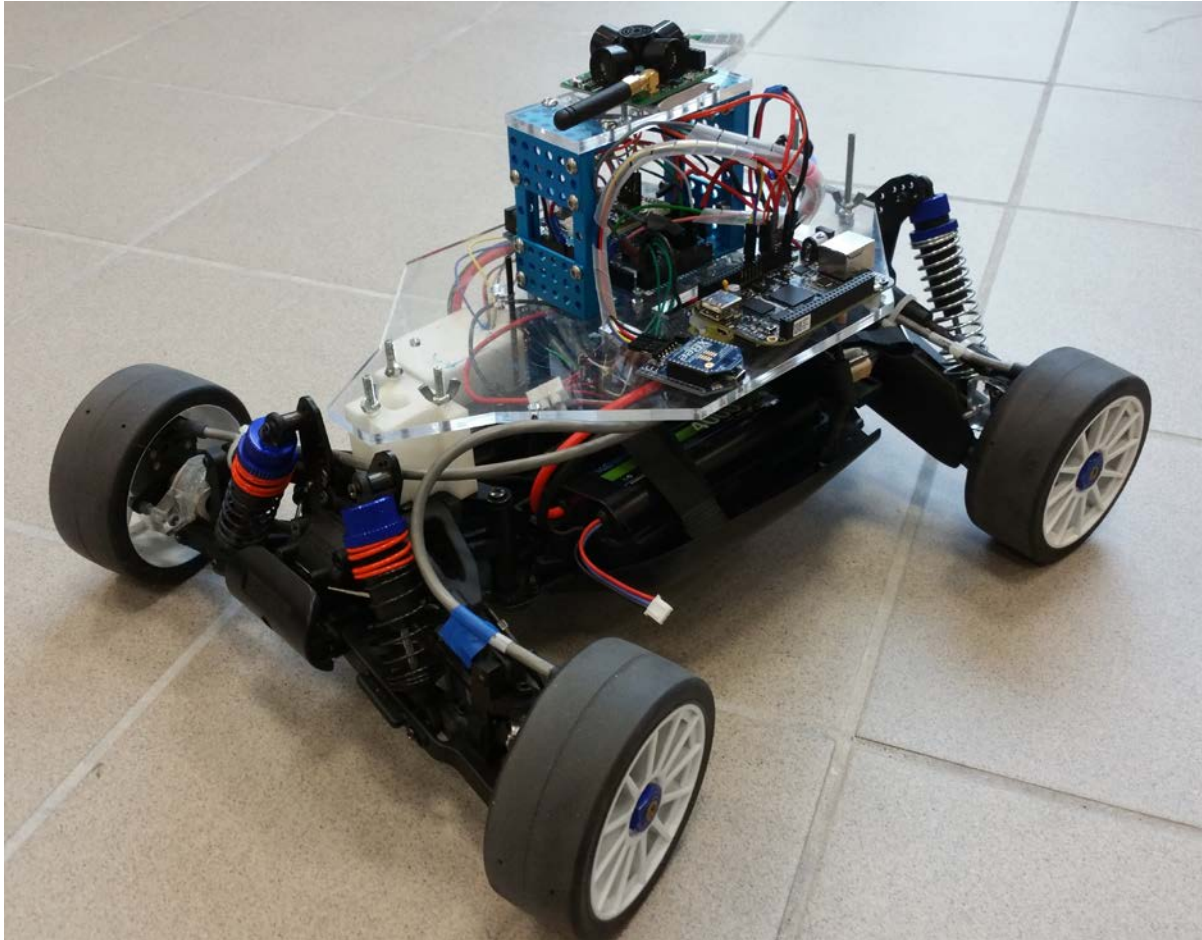
Obiettivi



Sviluppo di una piattaforma per testare algoritmi di controllo:

- realizzazione di un modello in scala di un veicolo reale;
- implementazione di sensori a basso costo.

Il veicolo eRumby



Rielaborazione del veicolo elettrico radiocomandato INFERNO VE Race, modello in scala 1:8 di una dune buggy.

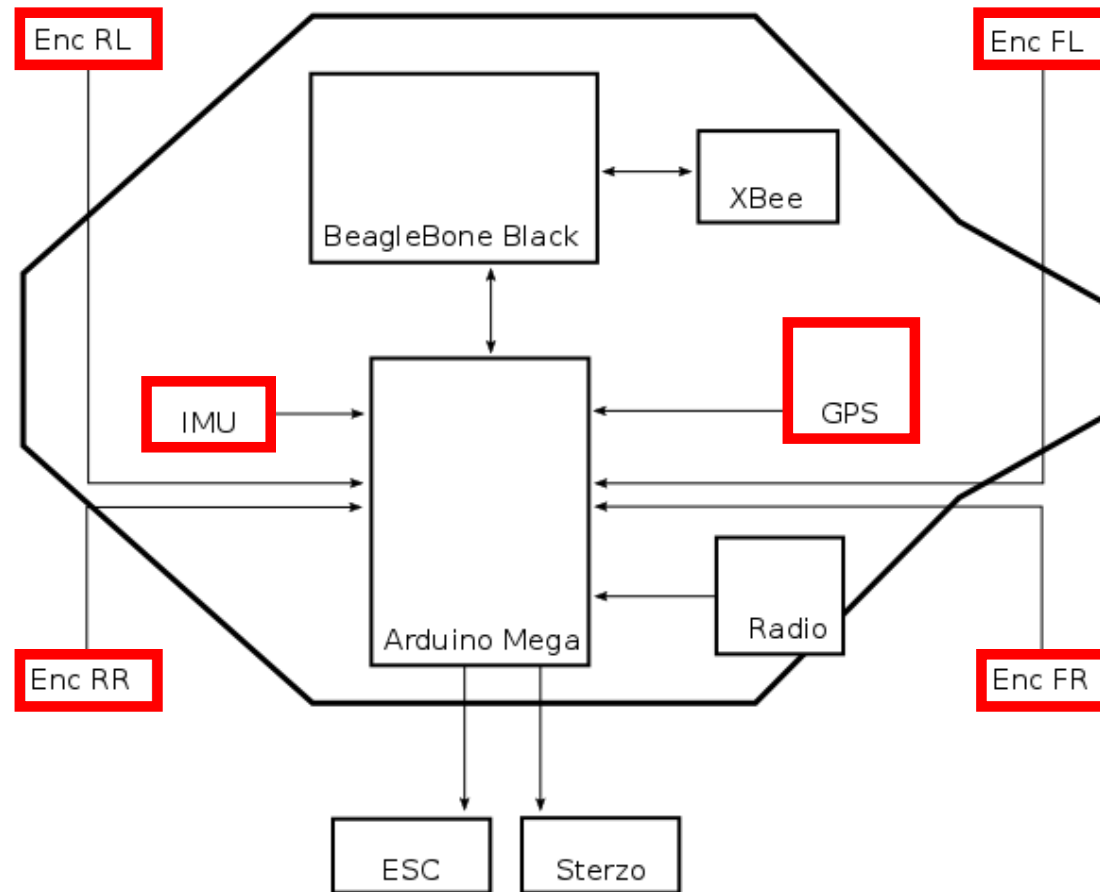
- pianale in alluminio;
- barra anti rollio;
- quattro sospensioni regolabili;
- trasmissione integrale con tre differenziali;
- ricevente radio Syncro KT-200 ;
- radiocomando Syncro KT-201 2.4GHz;
- motore servo per lo sterzo;
- Electronic Speed Control (ESC);
- motore brushless per la trazione.

Il veicolo eRumby

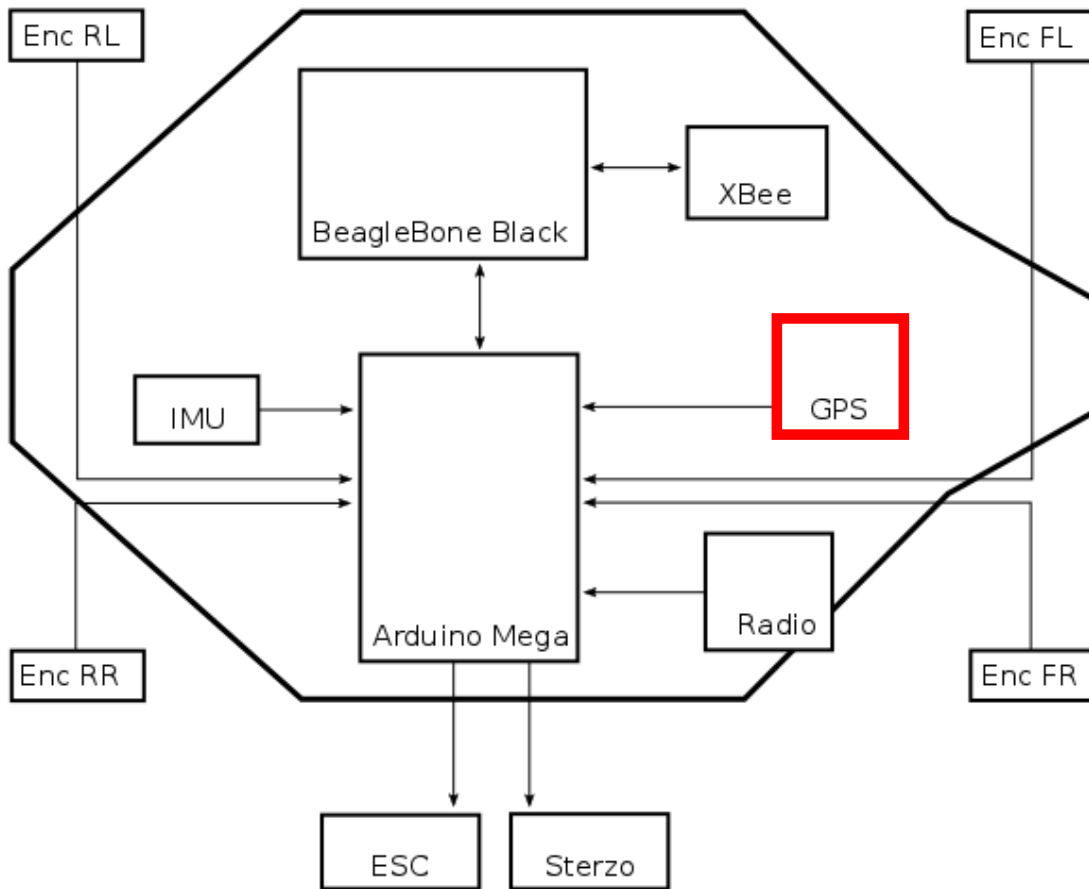
Per rendere il veicolo autonomo, il prototipo eRumby è stato dotato di sensori e moduli hardware.

Sensori:

- Global Positioning System Indoor (GPS Indoor);
- Inertial Measurement Unit (IMU);
- Odometry Sensors (Encoder).



Il veicolo eRumby



Per rendere il veicolo autonomo, il prototipo eRumby è stato dotato di sensori e moduli hardware.

Sensori:

- **Global Positioning System Indoor (GPS Indoor);**
- Inertial Measurement Unit (IMU);
- Odometry Sensors (Encoder).

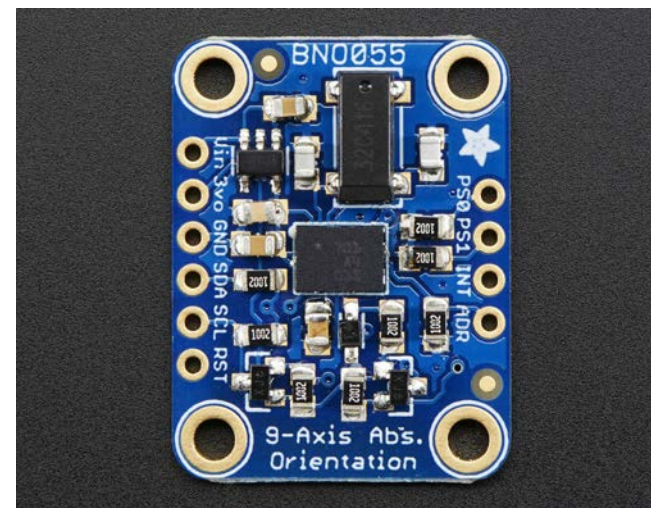
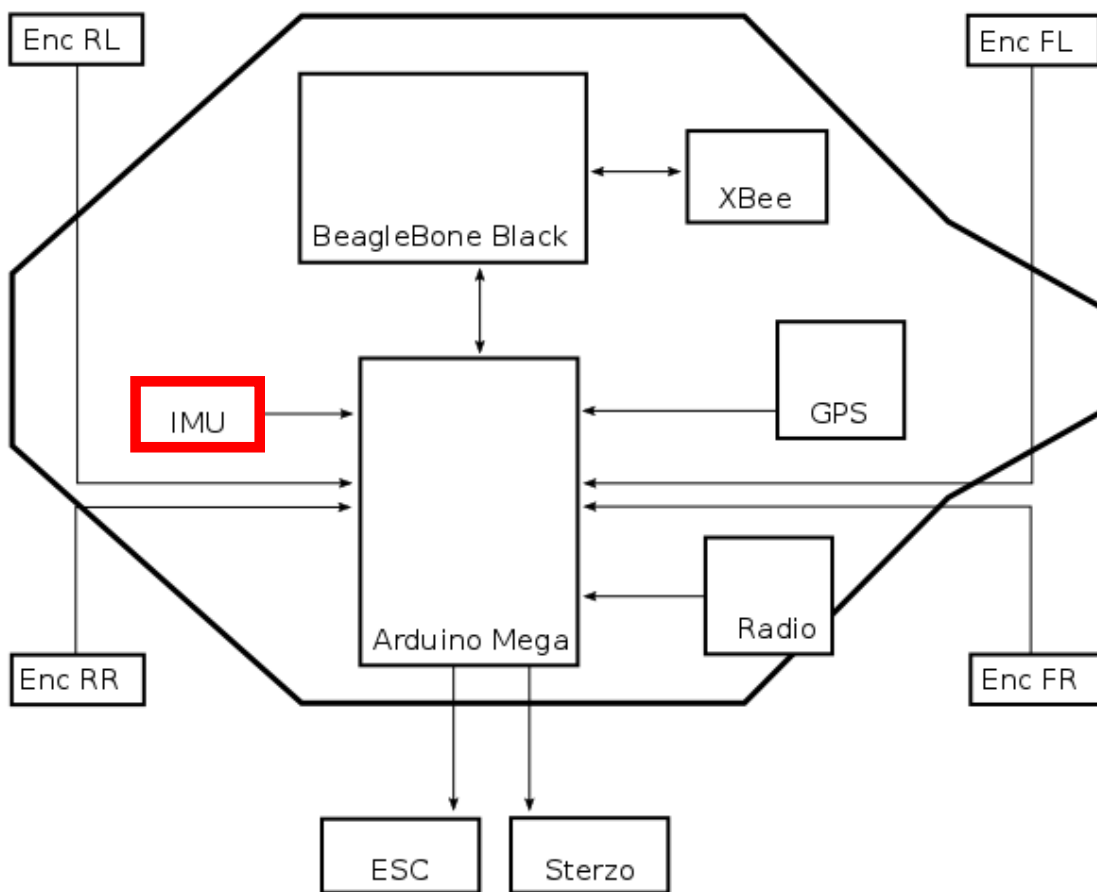


Il veicolo eRumby

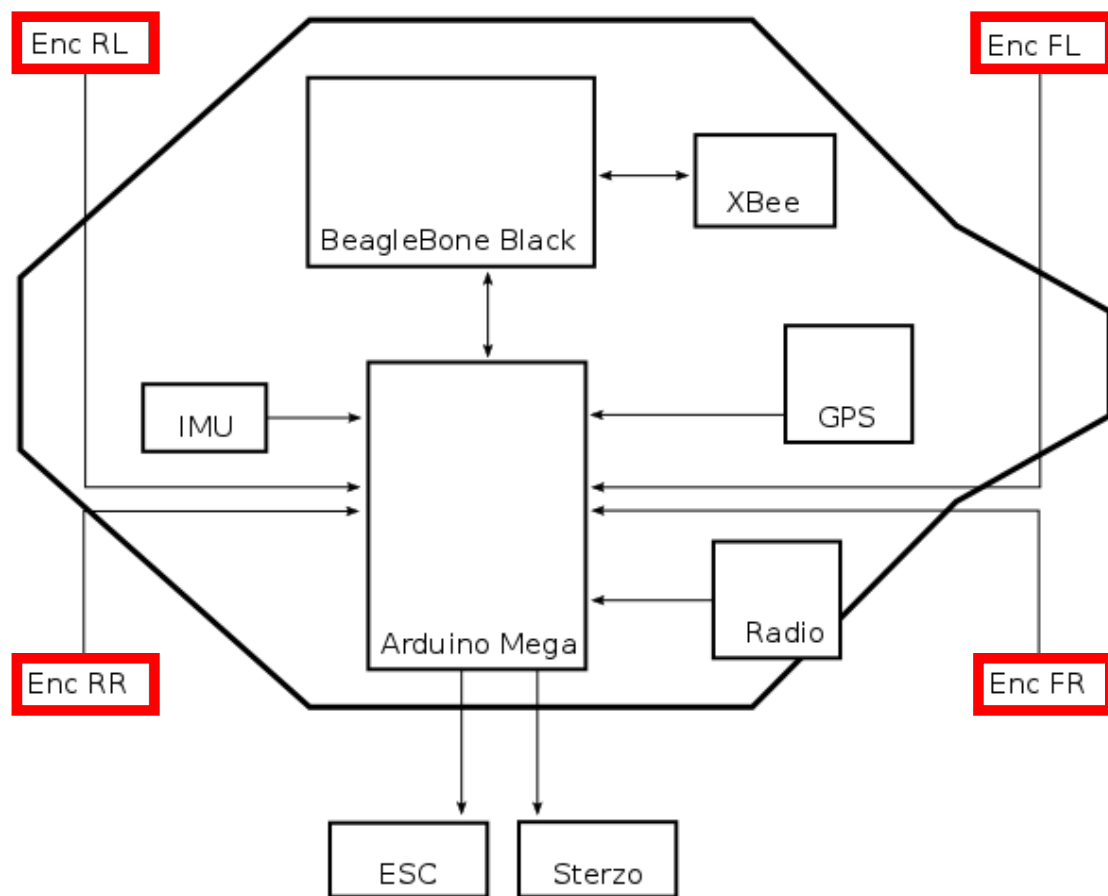
Per rendere il veicolo autonomo, il prototipo eRumby è stato dotato di sensori e moduli hardware.

Sensori:

- Global Positioning System Indoor (GPS Indoor);
- **Inertial Measurement Unit (IMU);**
- Odometry Sensors (Encoder).



Il veicolo eRumby



Per rendere il veicolo autonomo, il prototipo eRumby è stato dotato di sensori e moduli hardware.

Sensori:

- Global Positioning System Indoor (GPS Indoor);
- Inertial Measurement Unit (IMU);
- **Odometry Sensors (Encoder).**

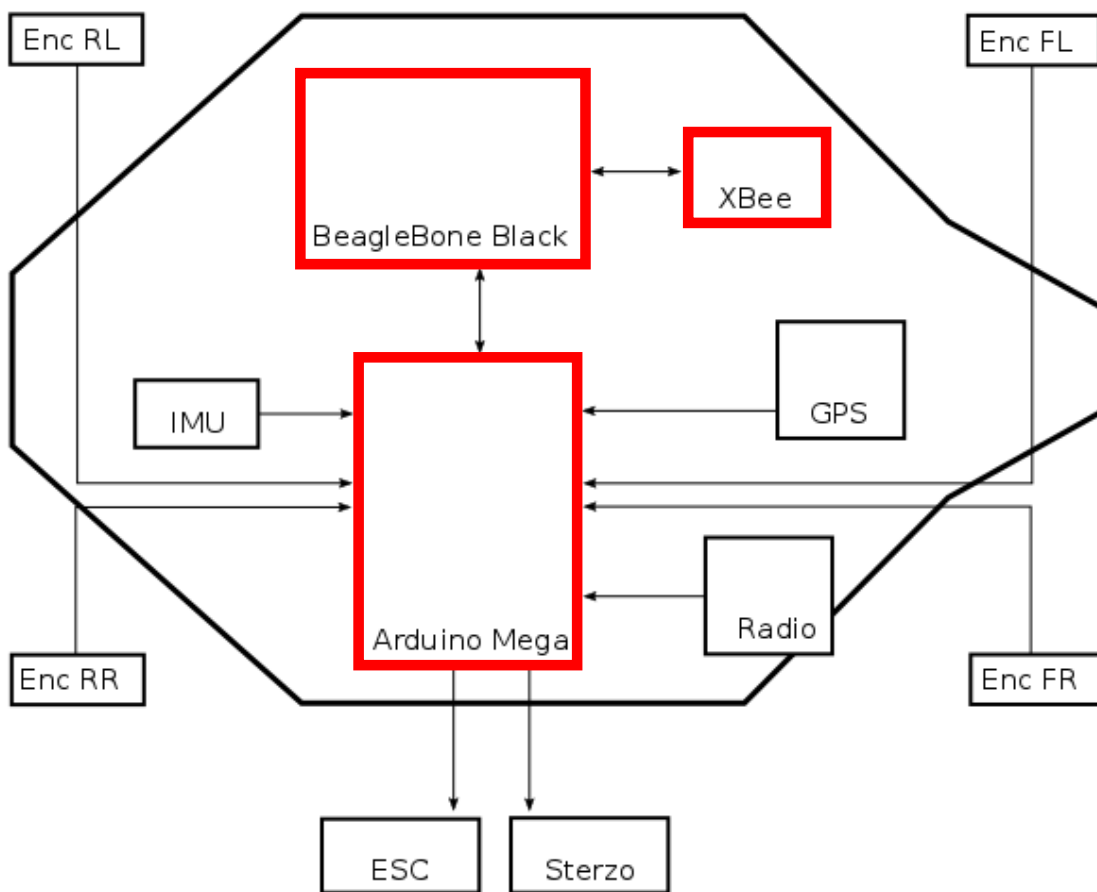


Il veicolo eRumby

Per rendere il veicolo autonomo, il prototipo eRumby è stato dotato di sensori e moduli hardware.

Moduli Hardware:

- Arduino Mega;
- BeagleBone Black;
- XBee.

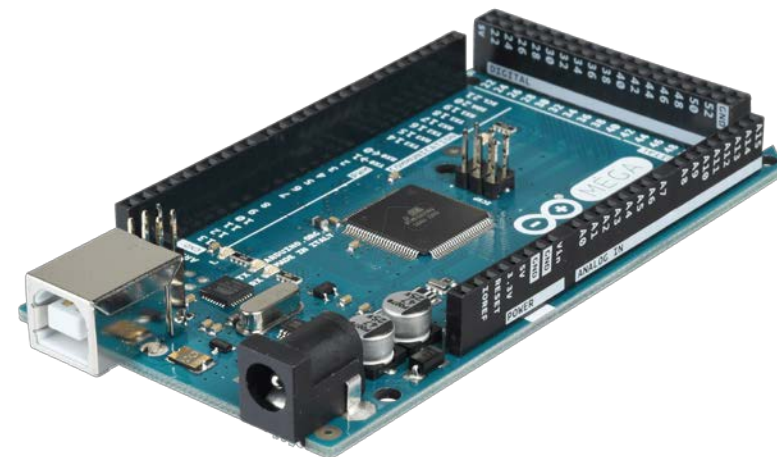
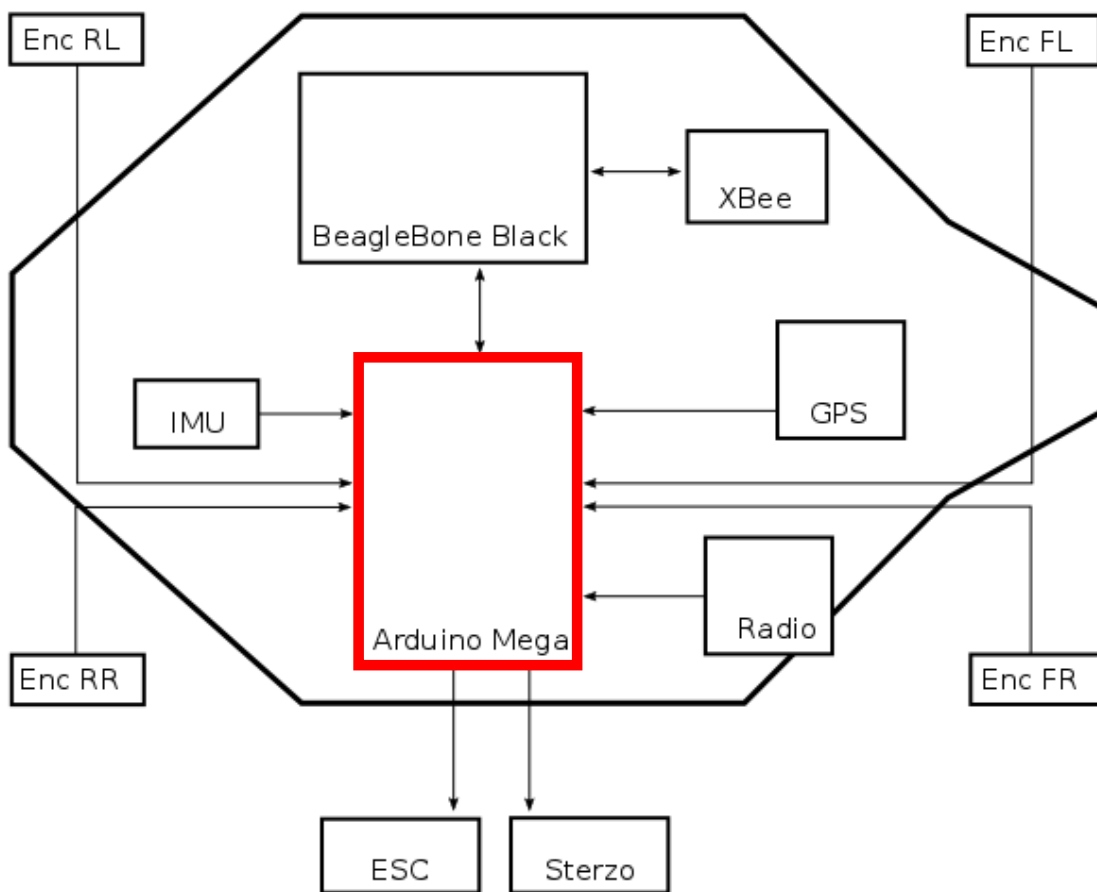


Il veicolo eRumby

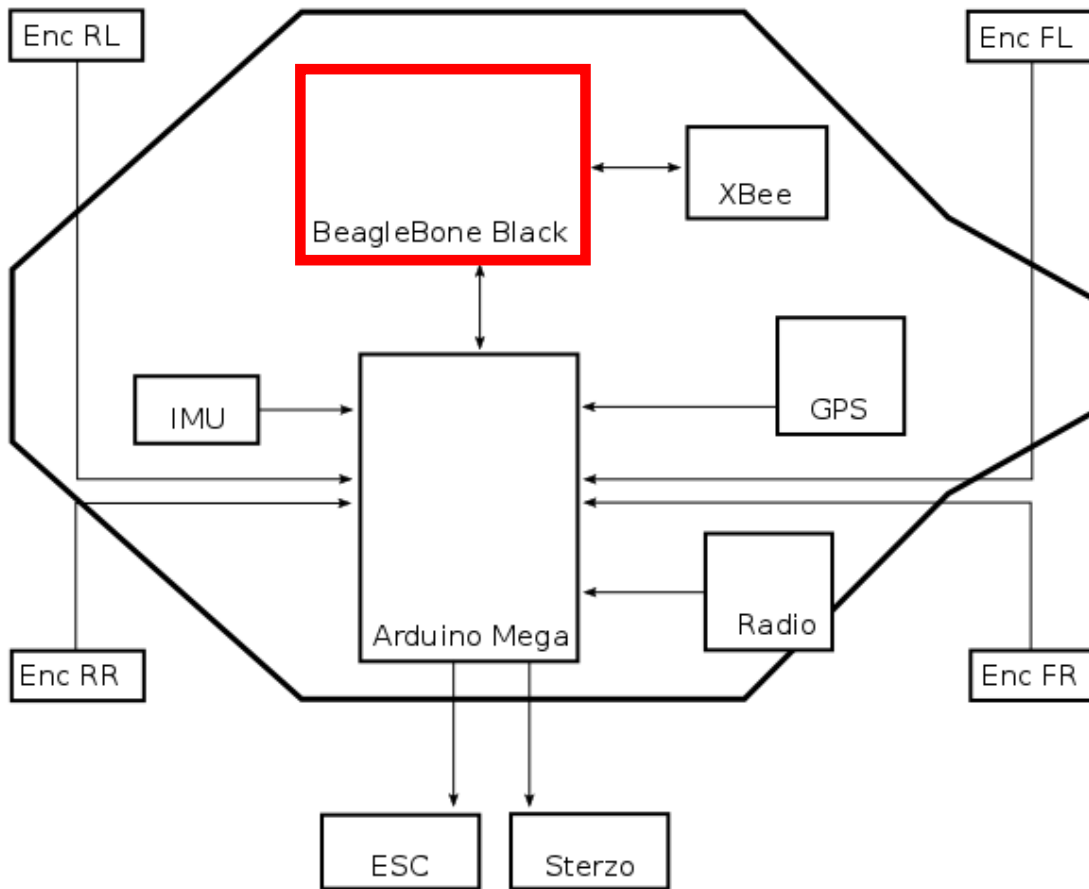
Per rendere il veicolo autonomo, il prototipo eRumby è stato dotato di sensori e moduli hardware.

Moduli Hardware:

- **Arduino Mega;**
- BeagleBone Black;
- XBee.



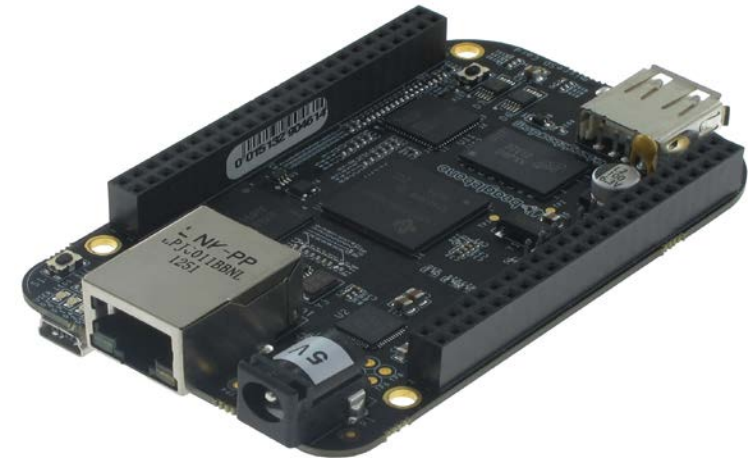
Il veicolo eRumby



Per rendere il veicolo autonomo, il prototipo eRumby è stato dotato di sensori e moduli hardware.

Moduli Hardware:

- Arduino Mega;
- **BeagleBone Black**;
- XBee.

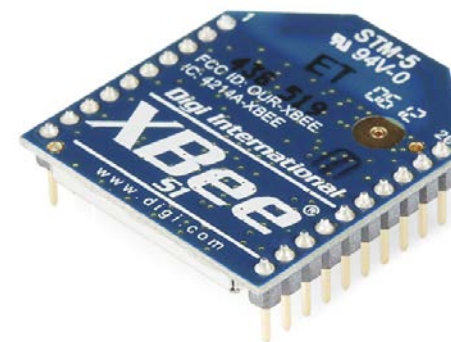
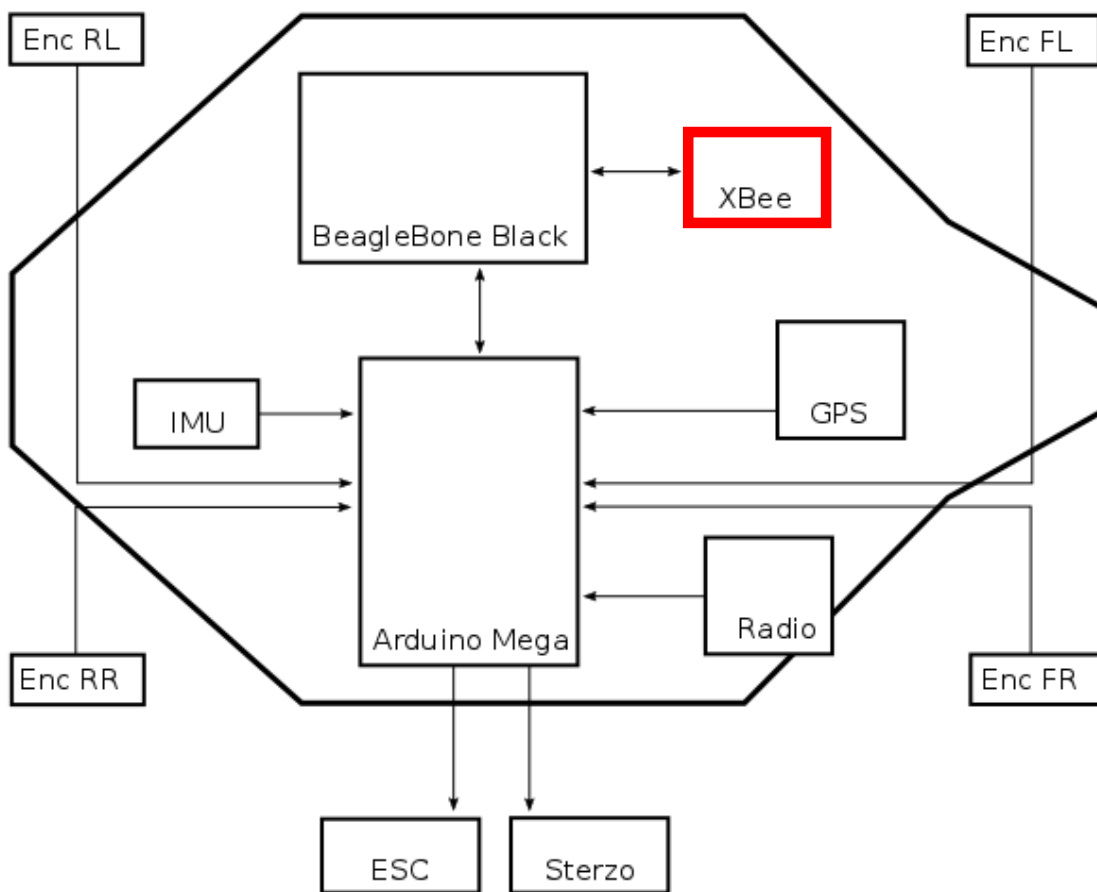


Il veicolo eRumby

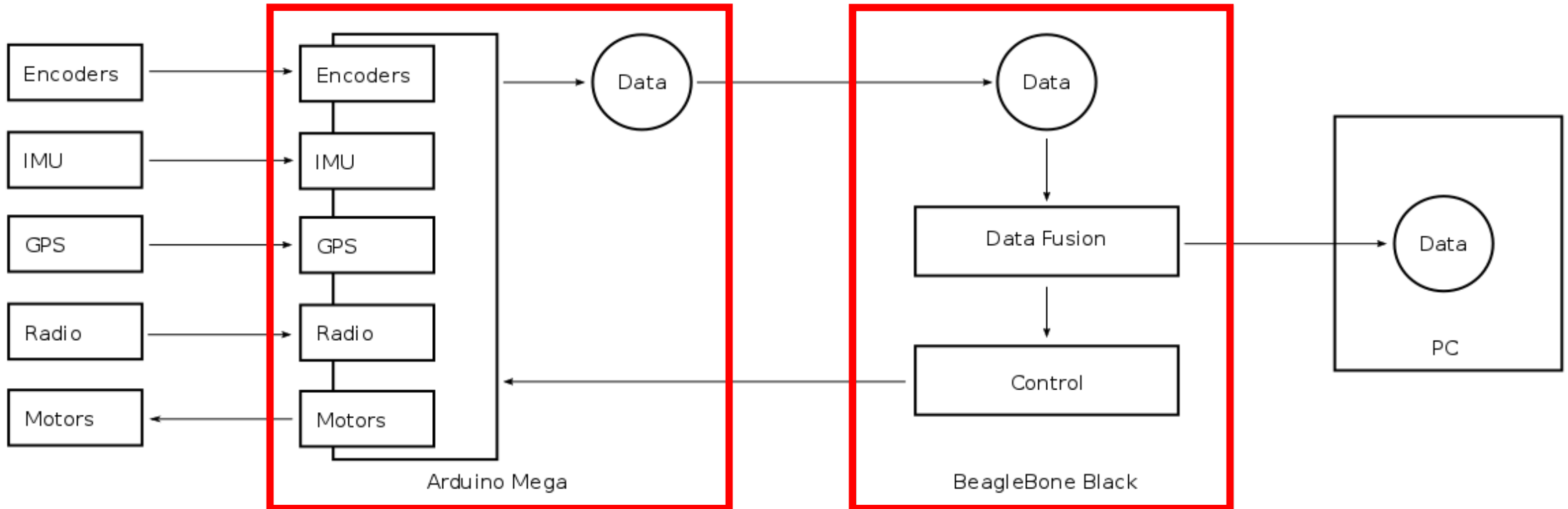
Per rendere il veicolo autonomo, il prototipo eRumby è stato dotato di sensori e moduli hardware.

Moduli Hardware:

- Arduino Mega;
- BeagleBone Black;
- XBee.



Architettura software del veicolo



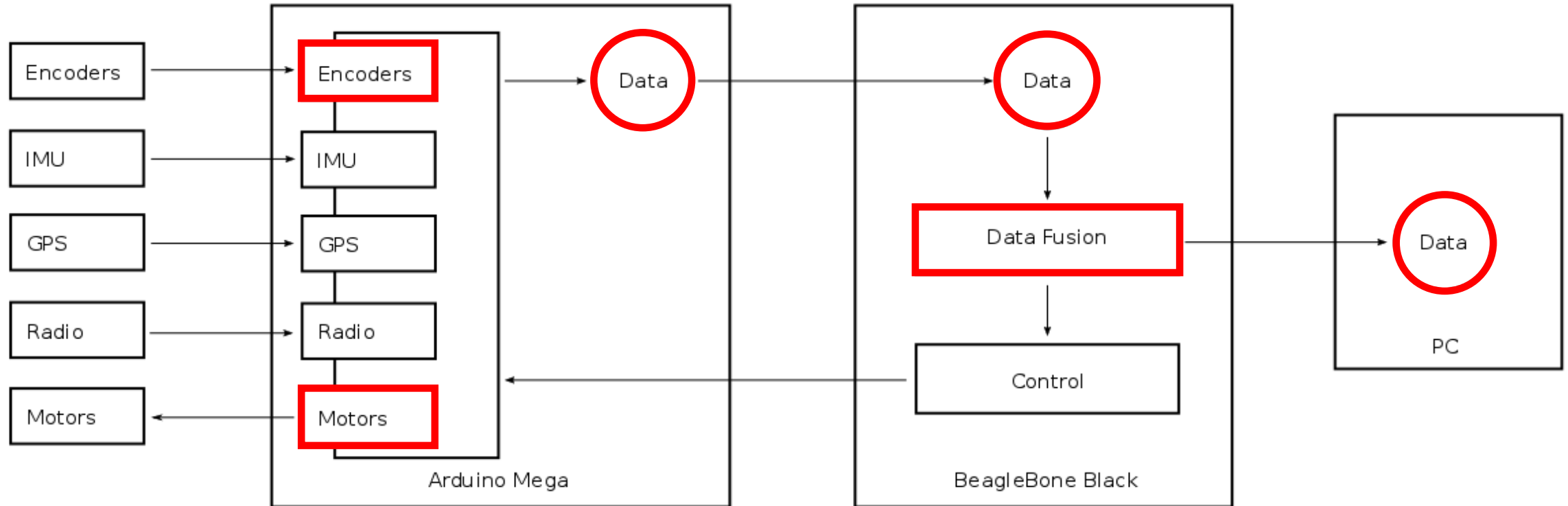
Arduino Mega:

- raccolta dati dai sensori;
- gestione dei segnali della ricevente;
- controllo dei motori.

BeagleBone Black:

- salvataggio dei dati;
- sensor fusion;
- controllo del veicolo.

Architettura software del veicolo



Struttura modulare sviluppata:

- lettura encoders;
- gestione dei motori;
- salvataggio e scambio dati;
- data fusion.

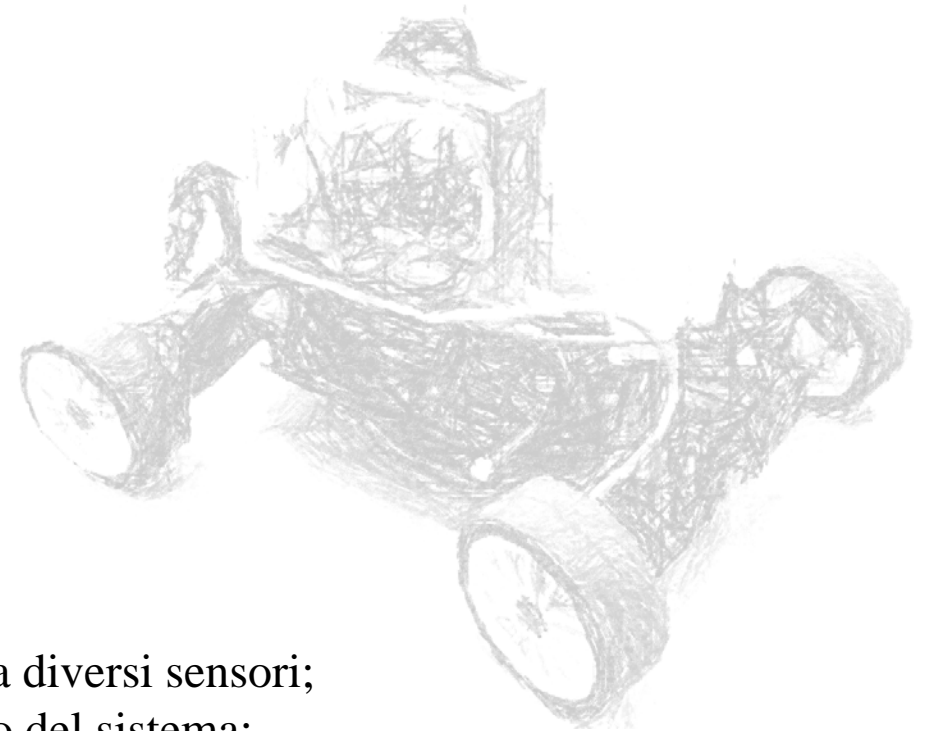
Stato del veicolo

Del veicolo si vuole conoscere:

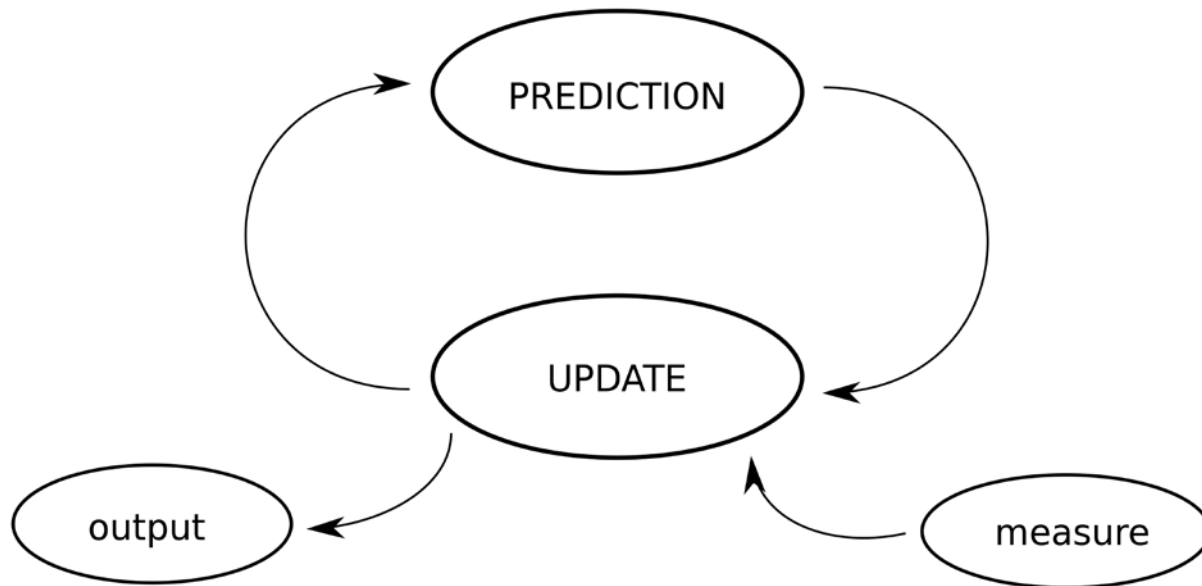
- posizione;
- velocità;
- accelerazione;
- angolo di imbardata;
- velocità di imbardata.

Sensor fusion:

- organizzazione in modo intelligente dei dati prodotti da diversi sensori;
- riduzione della incertezza sulle informazioni dello stato del sistema;
- stime più accurate e affidabili di quelle ottenibili dai sensori presi singolarmente.



Filtro di Kalman



Prediction equations:

- al tempo t viene fatta una stima del valore delle variabili di interesse al tempo $t+\Delta t$;

Update equations:

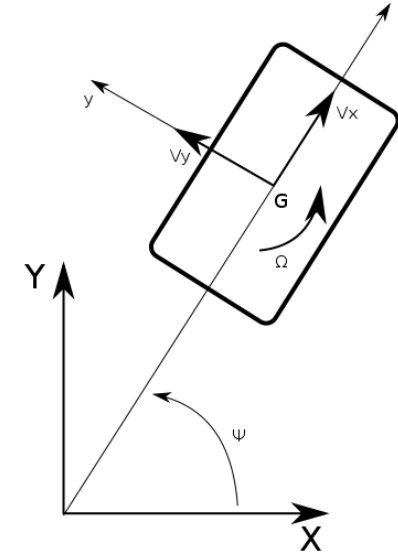
- vengono confrontati i dati predetti con quelli effettivamente misurati e viene effettuata una opportuna correzione.

Stato del veicolo

Modello considerato:

- corpo rigido che si muove nel piano.

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{v}_x = a_x + v_y \Omega \\ \dot{v}_y = a_y - v_x \Omega \\ X_G = \int v_x \cos(\psi) - v_y \sin(\psi) dt \\ Y_G = \int v_x \sin(\psi) + v_y \cos(\psi) dt \\ \psi = \int \Omega dt \end{array} \right.$$

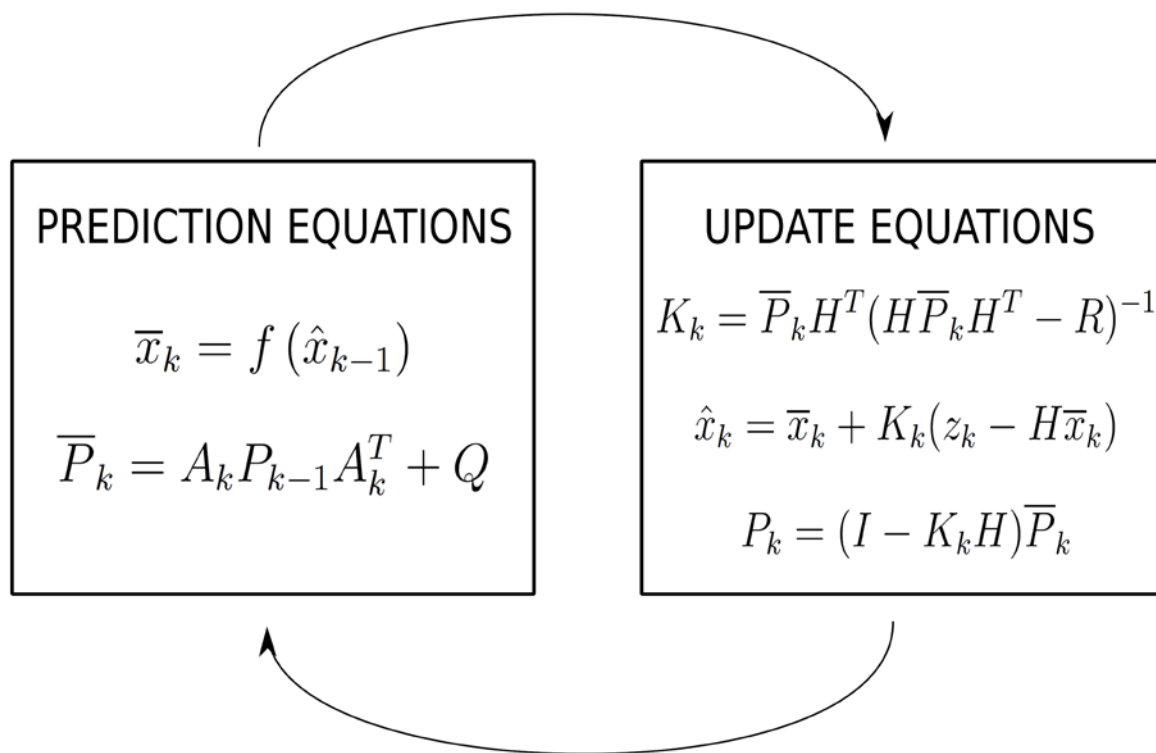


Assunzioni sul modello:

- moti verticali trascurabili;
- beccheggio trascurabile;
- rollio trascurabile;
- deformabilità del telaio trascurabile.

Filtro di Kalman Esteso (EKF)

- sistema non lineare.



Dove:

- \hat{x}_k vettore dello stato stimato;
- z_k vettore delle misure fornite dai sensori;
- Q matrice di covarianza del disturbo sullo stato stimato;
- H matrice delle uscite;
- R matrice di covarianza del rumore sulle misure;
- P_k matrice di varianza dell'errore sullo stato stimato;
- K_k matrice di correzione della stima;
- A_k matrice di stato:

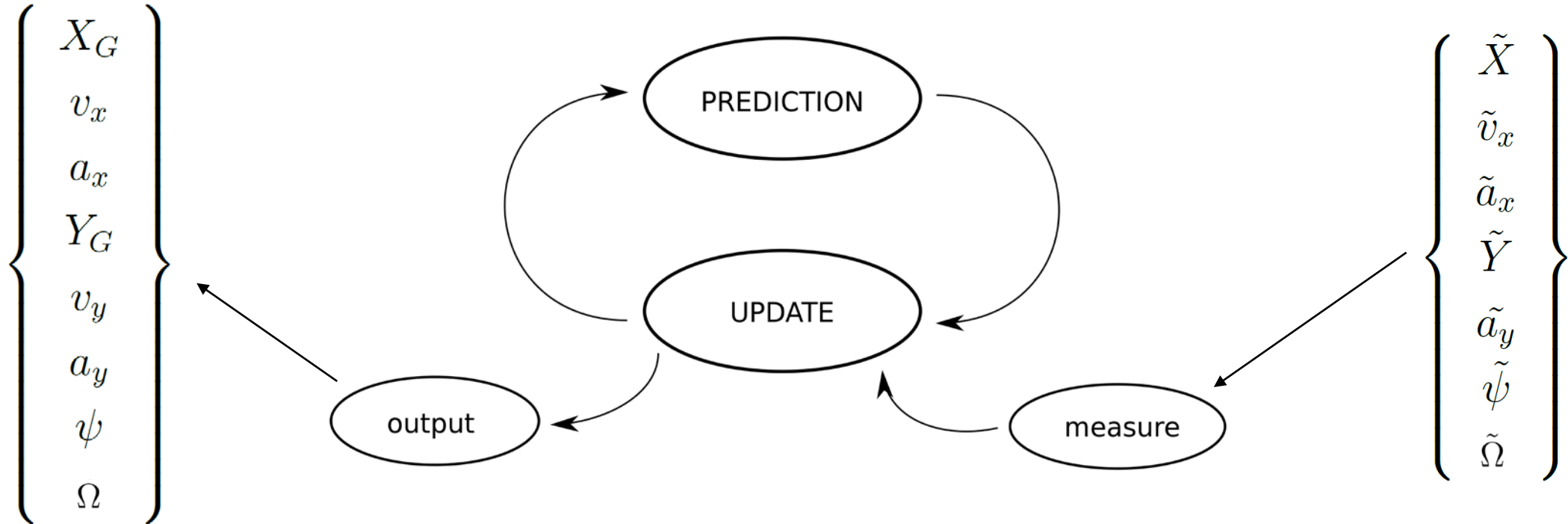
$$A_k = \begin{bmatrix} 1 & \cos(\psi_k) \Delta t & 0 & 0 & -\sin(\psi_k) \Delta t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \Delta t & 0 & \Omega_k \Delta t & 0 & 0 & v_{y_k} \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin(\psi_k) \Delta t & 0 & 1 & \cos(\psi_k) \Delta t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\Omega_k \Delta t & 0 & 0 & 1 & \Delta t & 0 & -v_{x_k} \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Stato del veicolo

Filtro di Kalman Esteso (EKF)

Stato del veicolo:

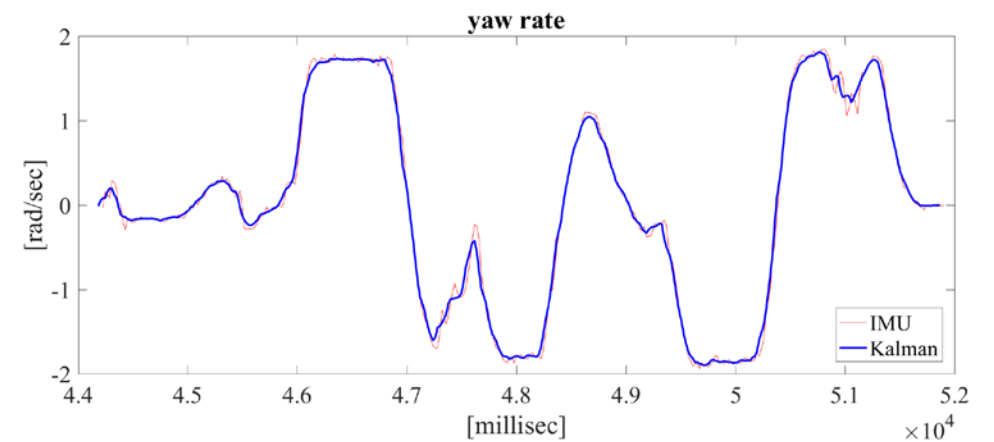
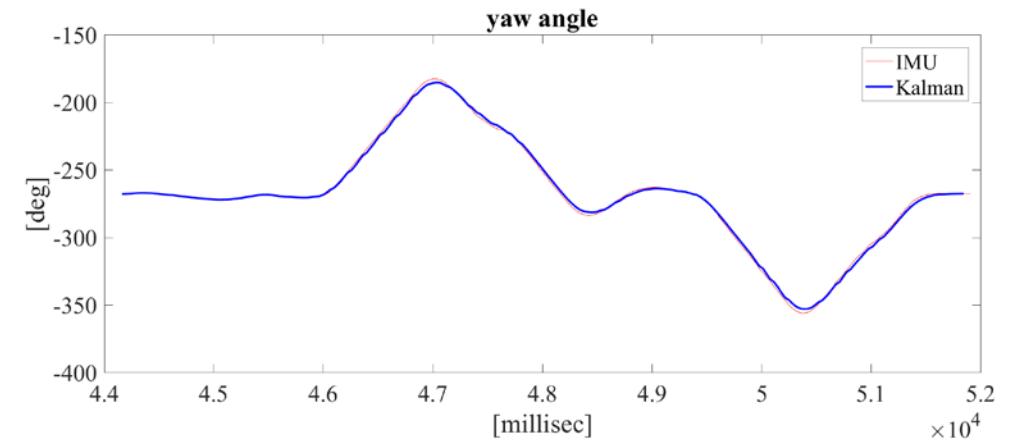
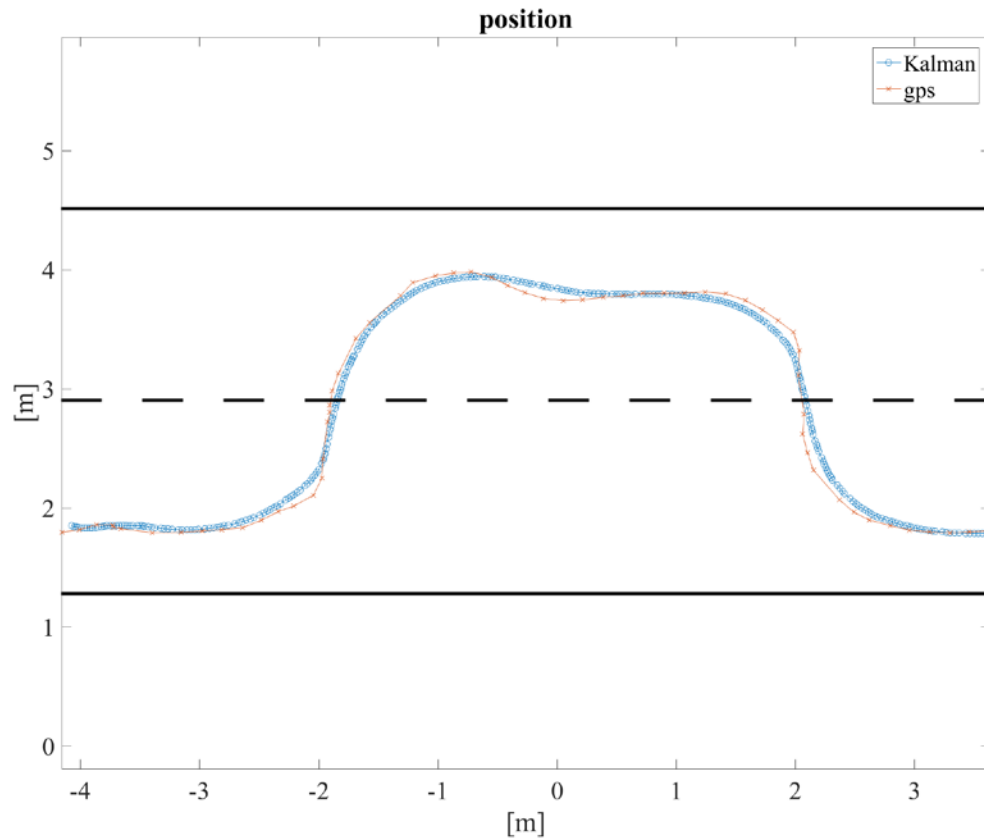
Misure dai sensori:





Prove svolte

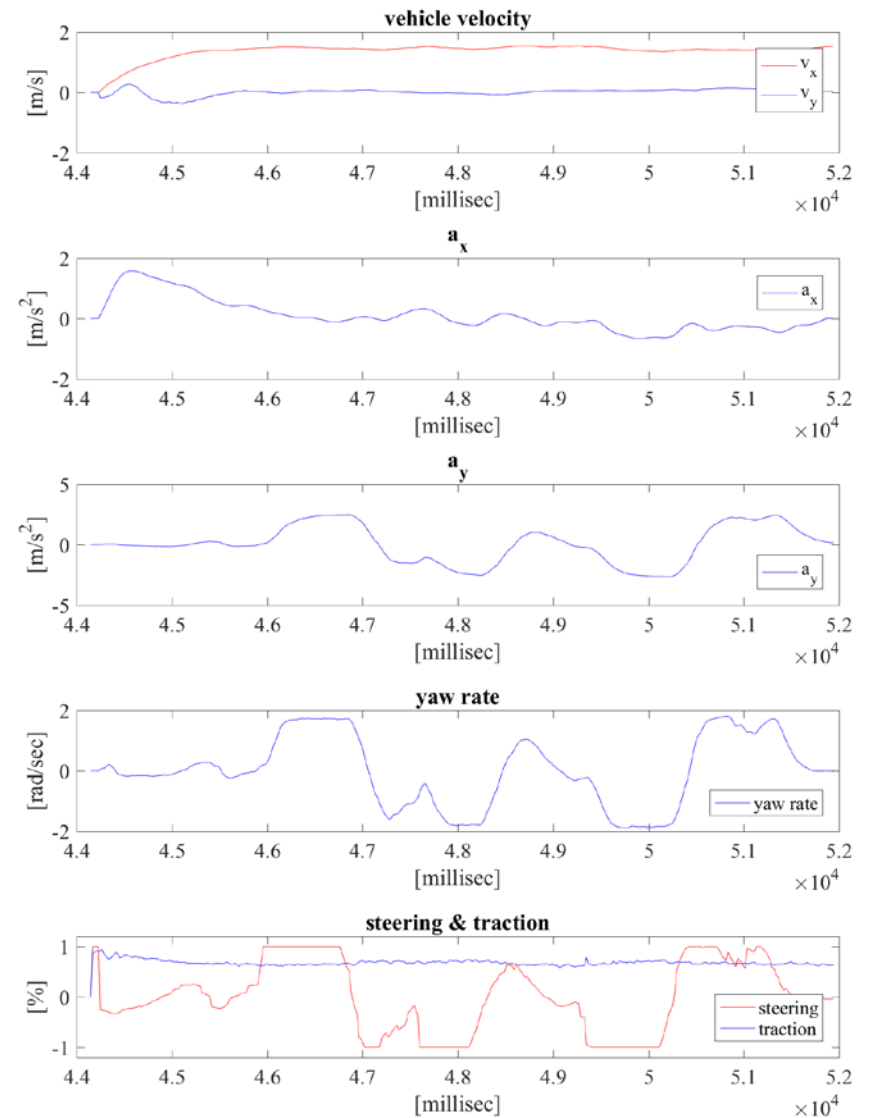
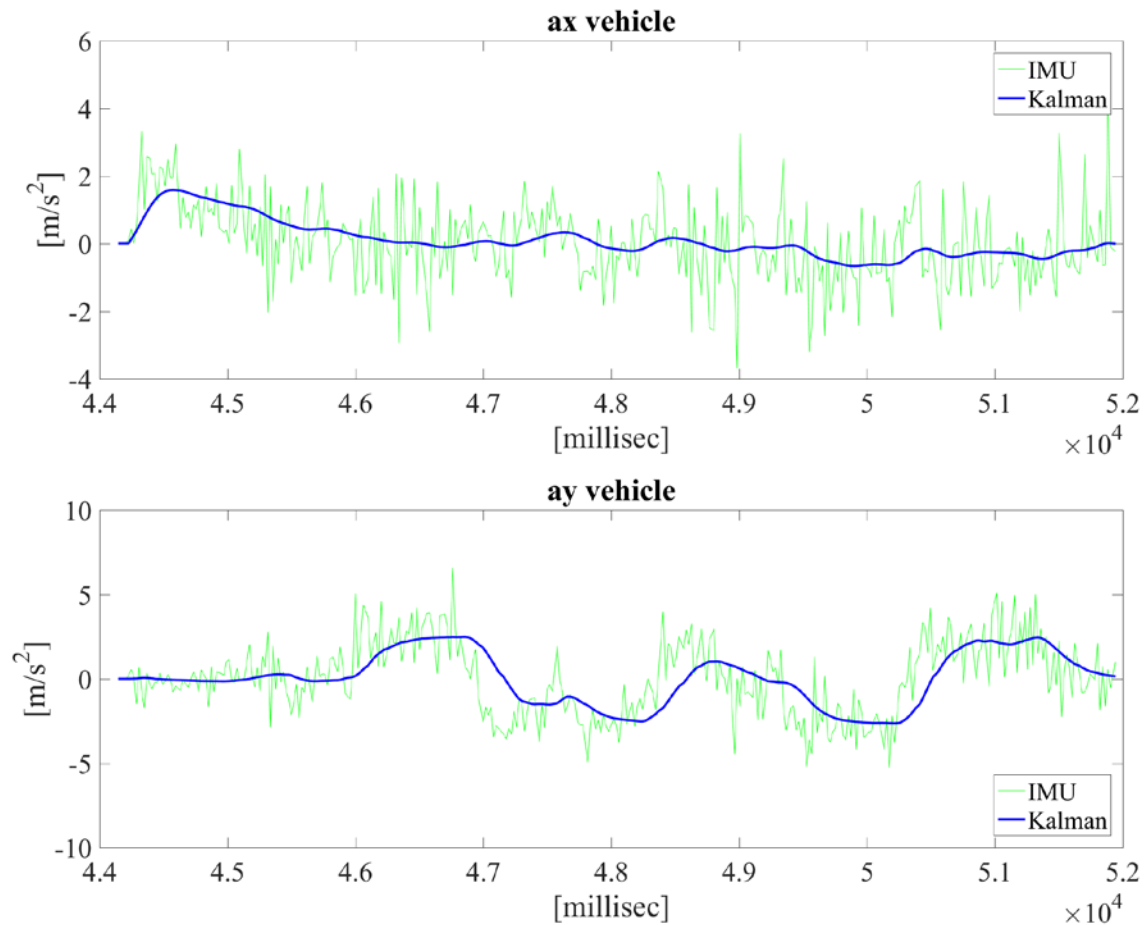
Prova di lane change





Prove svolte

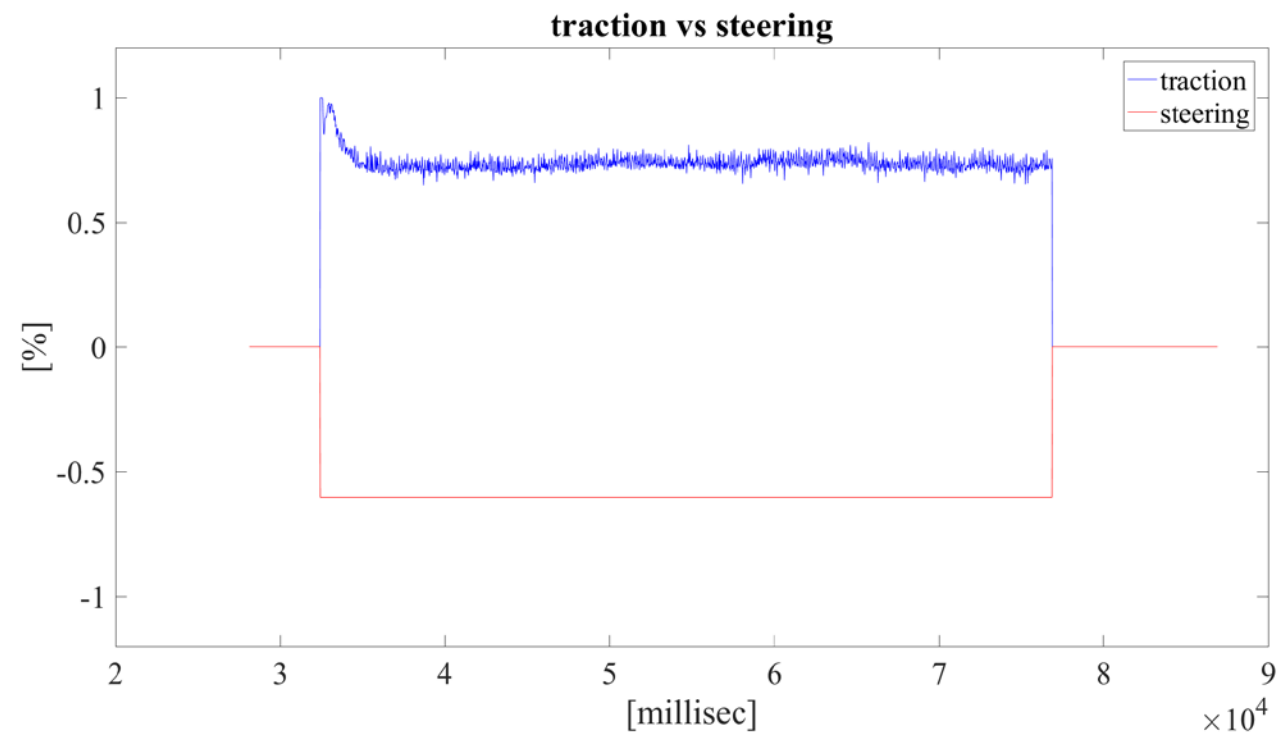
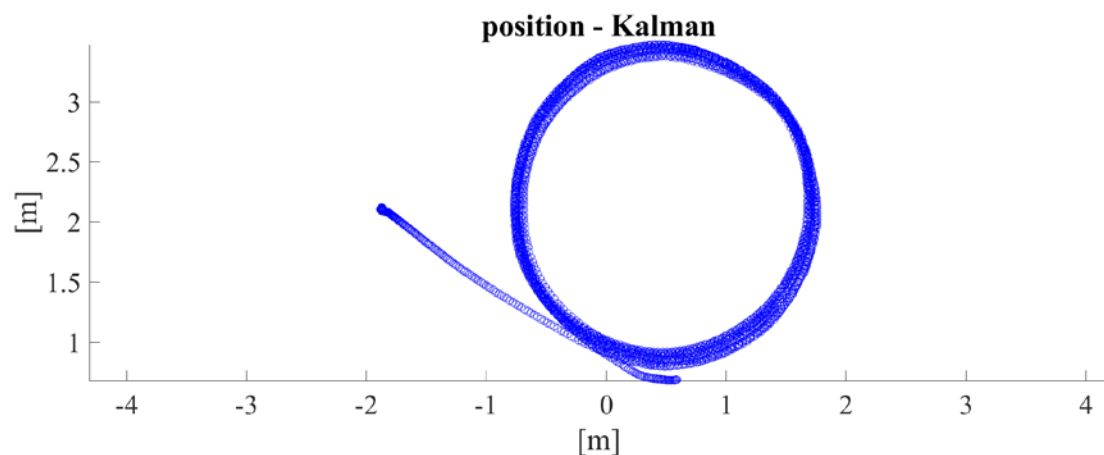
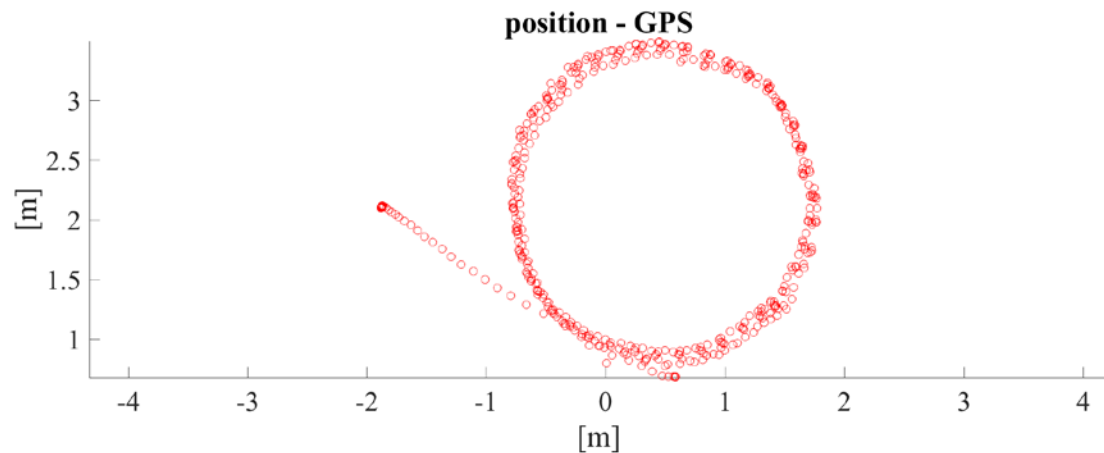
Prova di lane change





Prove svolte

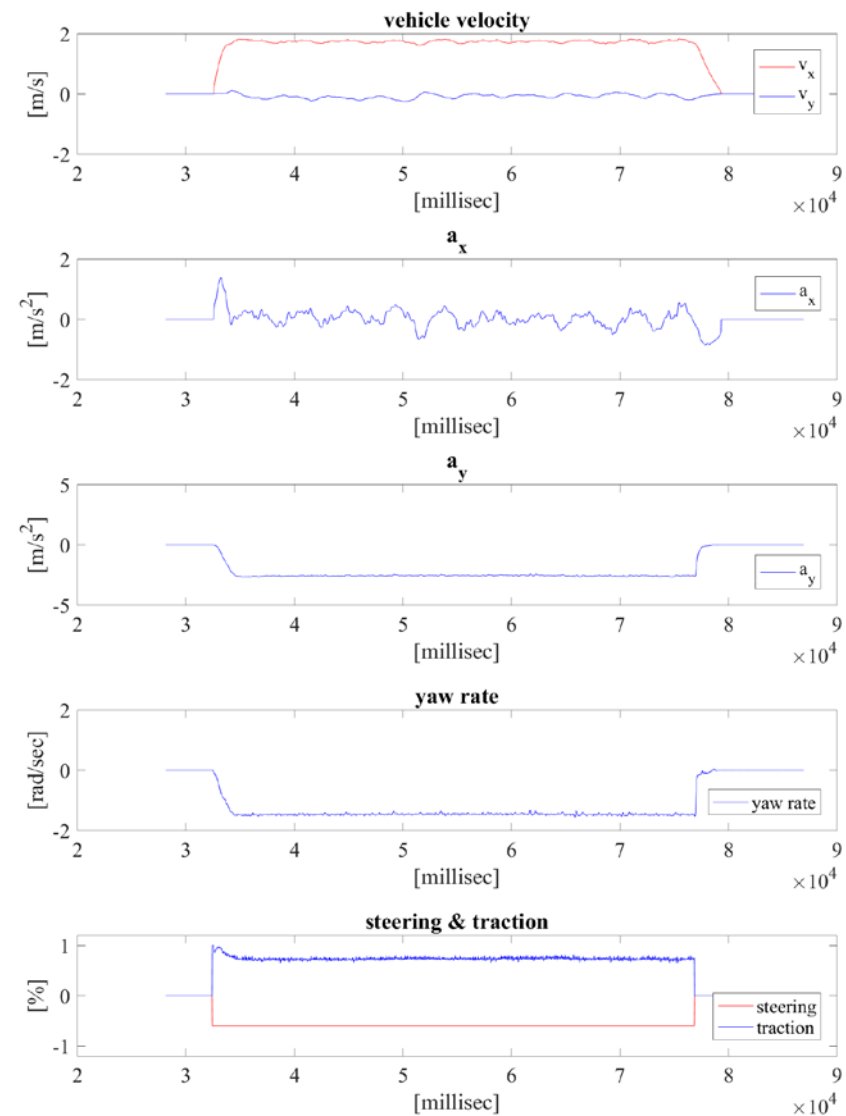
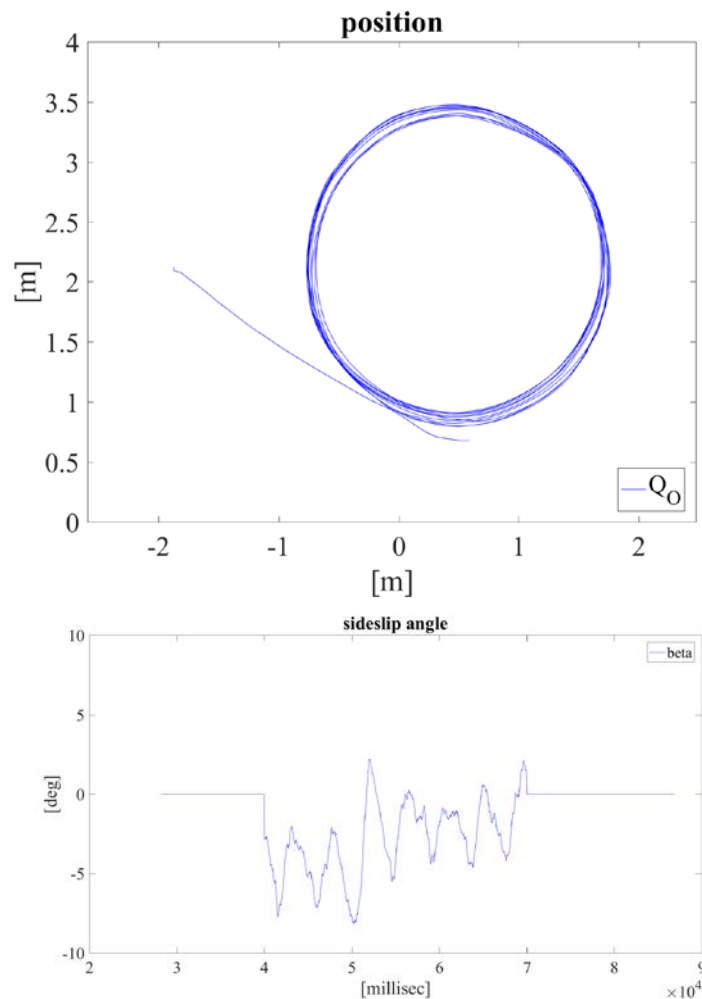
Prova su traiettoria circolare





Prove svolte

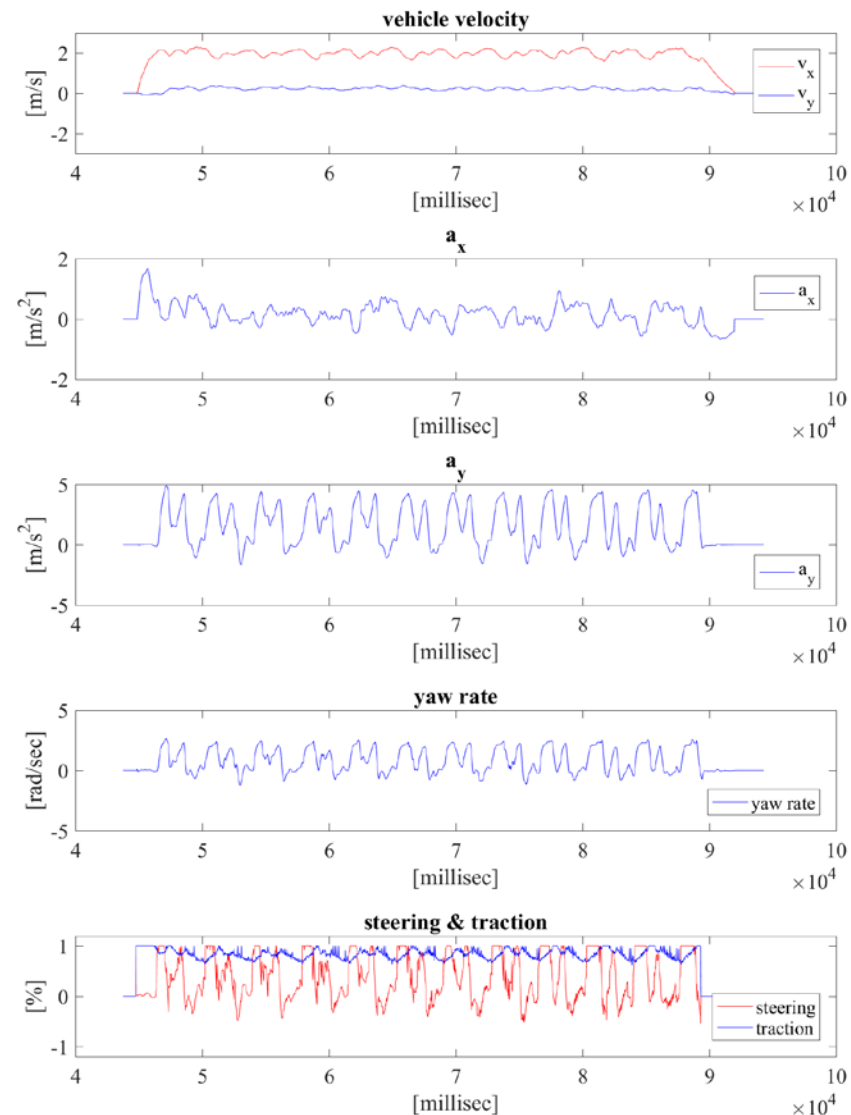
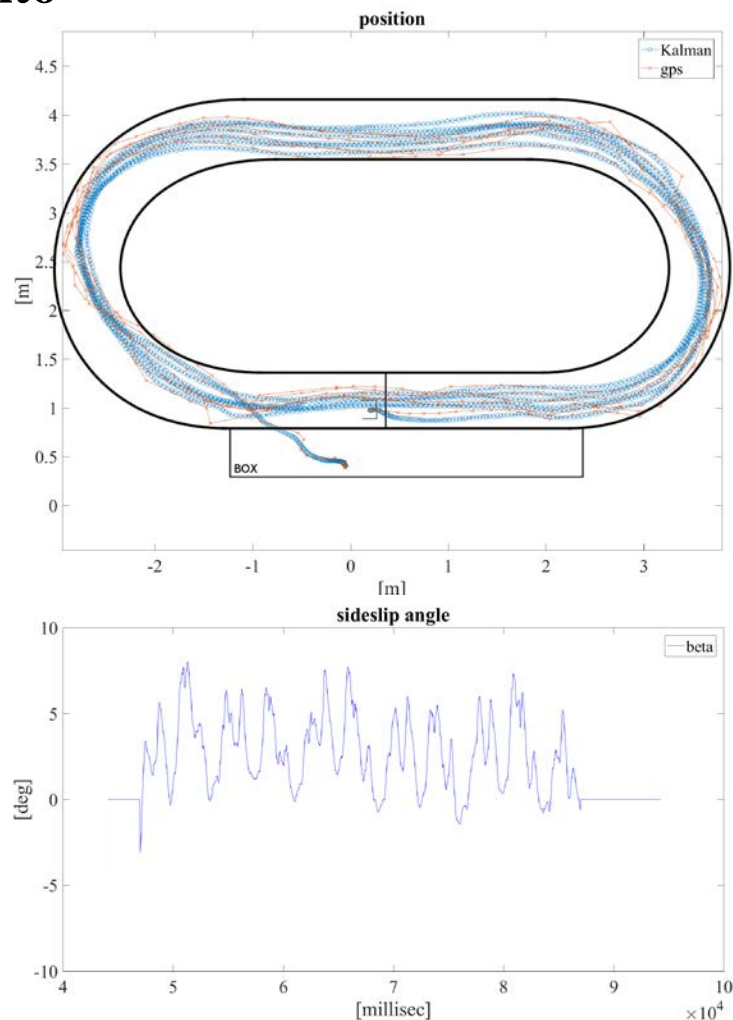
Prova su traiettoria circolare





Prove svolte

Prova su circuito



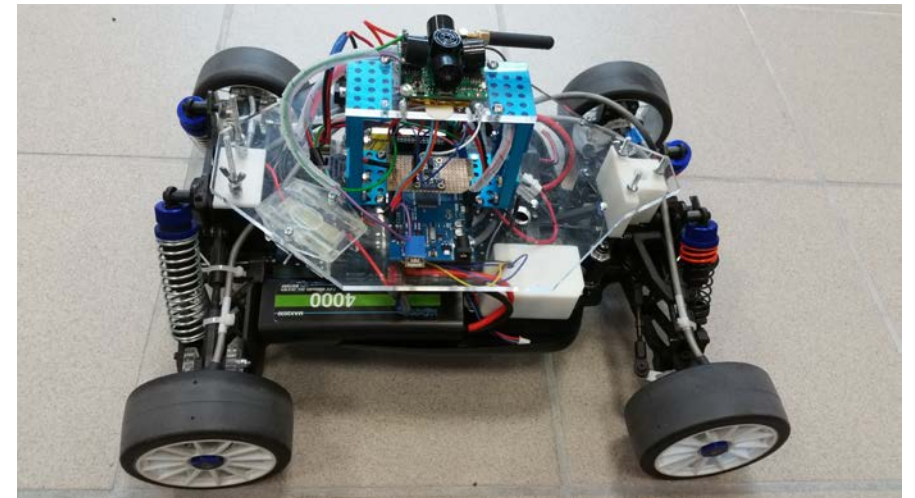
Sviluppi futuri

Implementazioni software e hardware:

- nuovi tipi di sensori;
- introduzione di un secondo controllore.

Sviluppo e sperimentazione di nuovi algoritmi:

- introduzione di un *Traction Control System* (TCS);
- sviluppo e test di algoritmi di *Obstacle Avoidance*;
- sviluppo e test di algoritmi di manovre particolari:
 - parcheggio;
 - *lane change*.



Fine



Grazie per l'attenzione.

Fine

Obiettivo:

- realizzazione di un modello in scala di un veicolo reale;
- ricostruzione dello stato del veicolo.

Architettura Hardware:

- GPS indoor;
- IMU;
- Encoders;
- Arduino Mega;
- BeagleBone Black;
- XBee.

Architettura Software:

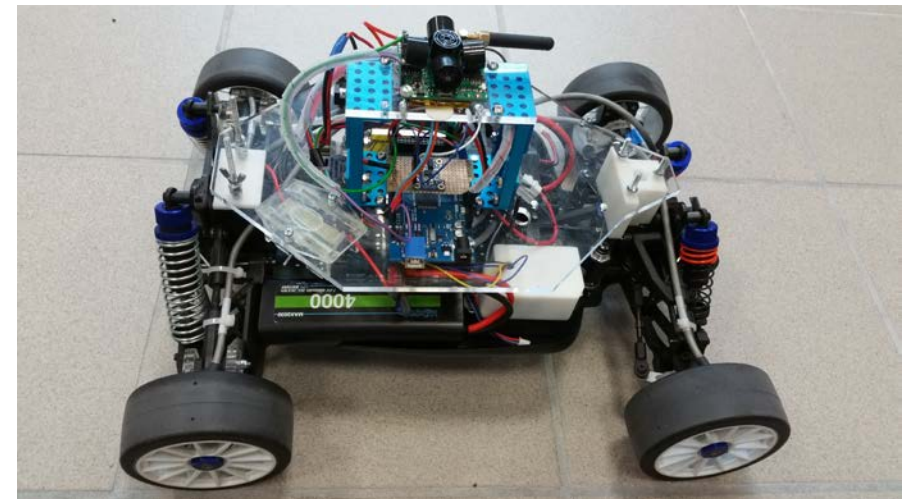
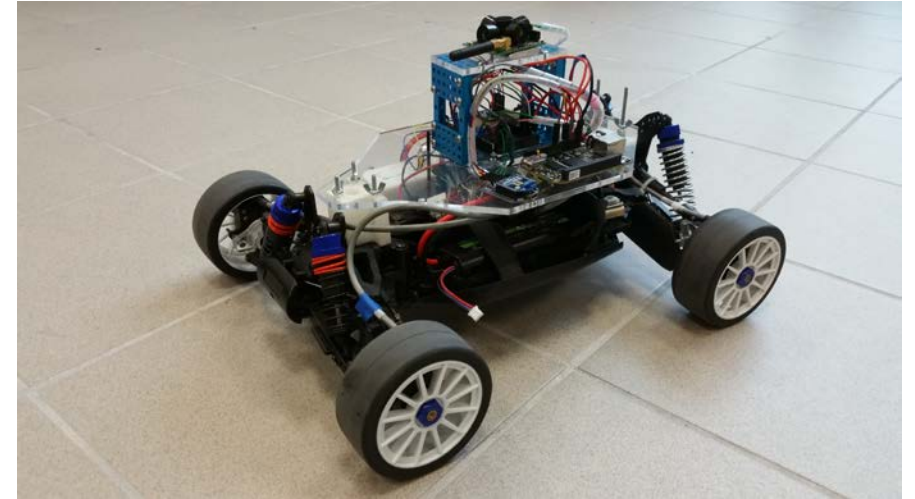
- struttura modulare.

Sensor Fusion:


- Filtro di Kalman Esteso.

Sviluppi futuri:

- nuovi tipi di sensori;
- introduzione di un secondo controllore;
- introduzione di un *Traction Control System* (TCS);
- sviluppo e test di algoritmi di *Obstacle Avoidance*.



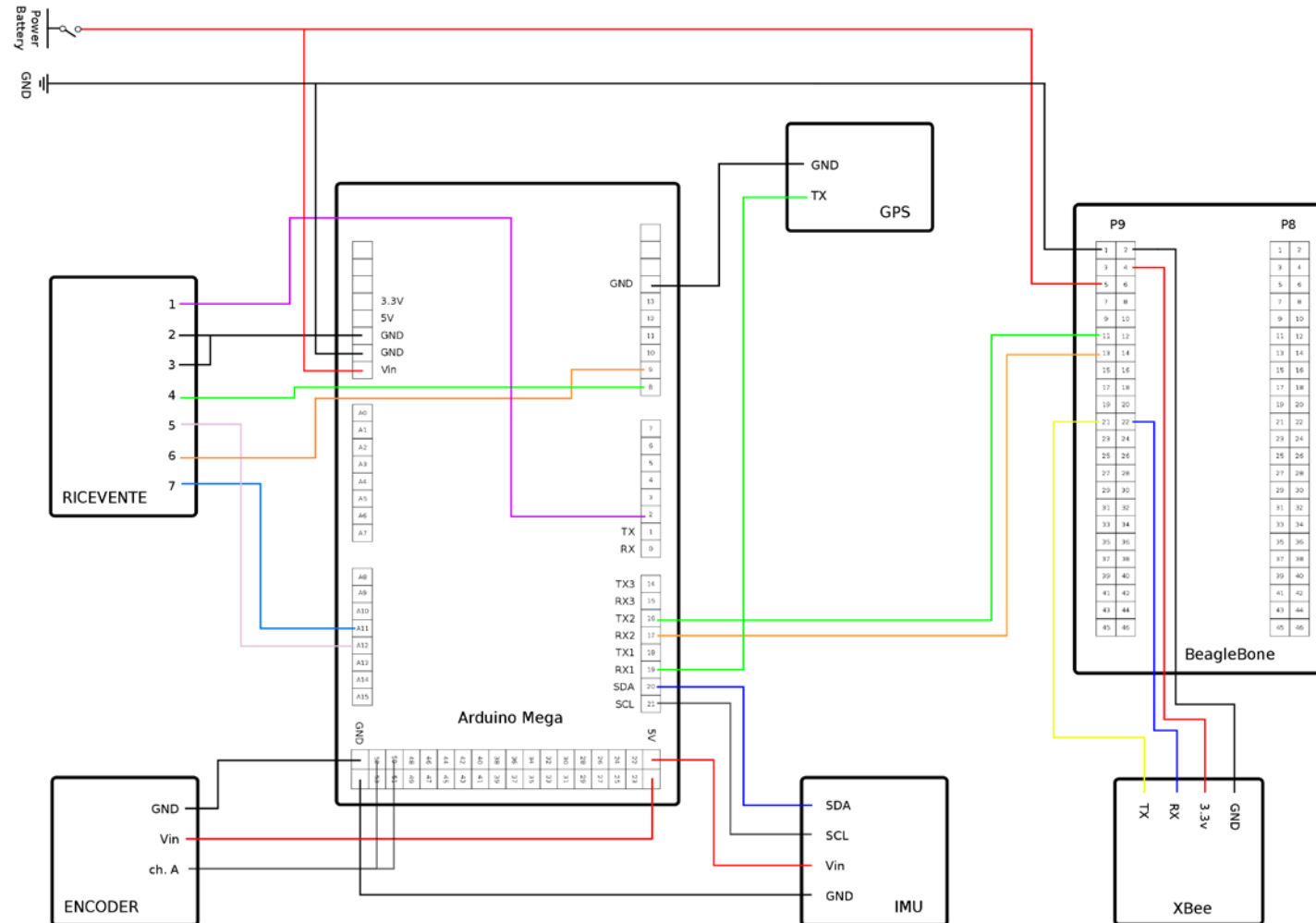
Fine



Grazie per l'attenzione.

Appendice

Schema delle connessioni elettriche tra schede e sensori impiegati



Appendice

Caratteristiche dei sensori

- GPS Indoor Marvelmind Robotics

Caratteristiche
Precisione al cm con una incertezza pari a ± 1 cm
Distanza massima tra i fari di 50 m
Area di copertura del segnali di 100 m ²
Frequenza i aggiornamento dei dati pari a 16 Hz

- Encoder E5 US-Digital

Caratteristiche
Temperatura di utilizzo da -40 a 100°C
Alimentazione 5 V
Output LOW 0.5 V
Output HIGH 2 V
Output corrente per canale 8 mA
Massimo gioco assiale dell'albero ± 0.010 in.
Accelerazione massima 250 000 rad s ⁻²

- IMU Adafruit BNO055

Caratteristiche		
Accelerometro	Power Mode	NORMAL
	Range	$\pm 4g$
	Bandwidth	62.5 Hz
	Resolution	14 bits
Giroscopio	Power Mode	NORMAL
	Range	$2000^{\circ} \text{s}^{-1}$
	Bandwidth	32 Hz
	Resolution	16 bits
Magnetometro	Power Mode	FORCED
	ODR	20 Hz
	XY Repetition	15
	Z Repetition	16
	Resolution x/y/z	13/13/15 bits

Appendice

Caratteristiche dei moduli hardware

- Arduino Mega 2560

Caratteristiche
Microcontrollore ATmega1280
Tensione di funzionamento 5 V
Tensione in ingresso (raccomandata) 712 V
Tensione in ingresso (limite) 620 V
Pin I/O digitali 54
Pin I/O analogici 16
Corrente DC per i pin I/O 40 mA
Corrente DC per i pin a 3.3 V a 40 mA
Flash memory 128KB
SRAM 8KB
EEPROM 4KB
Clock speed 16 MHz

- BeagleBone Black

Caratteristiche
Processore AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8
RAM 512MB DDR3
4GB 8-bit eMMC on-board flash storage
Acceleratore grafico 3D
2x PRU 32-bit microcontrollers
Porta USB per alimentazione e comunicazione
Ingresso Ethernet
Ingresso HDMI
2x 46 pin headers

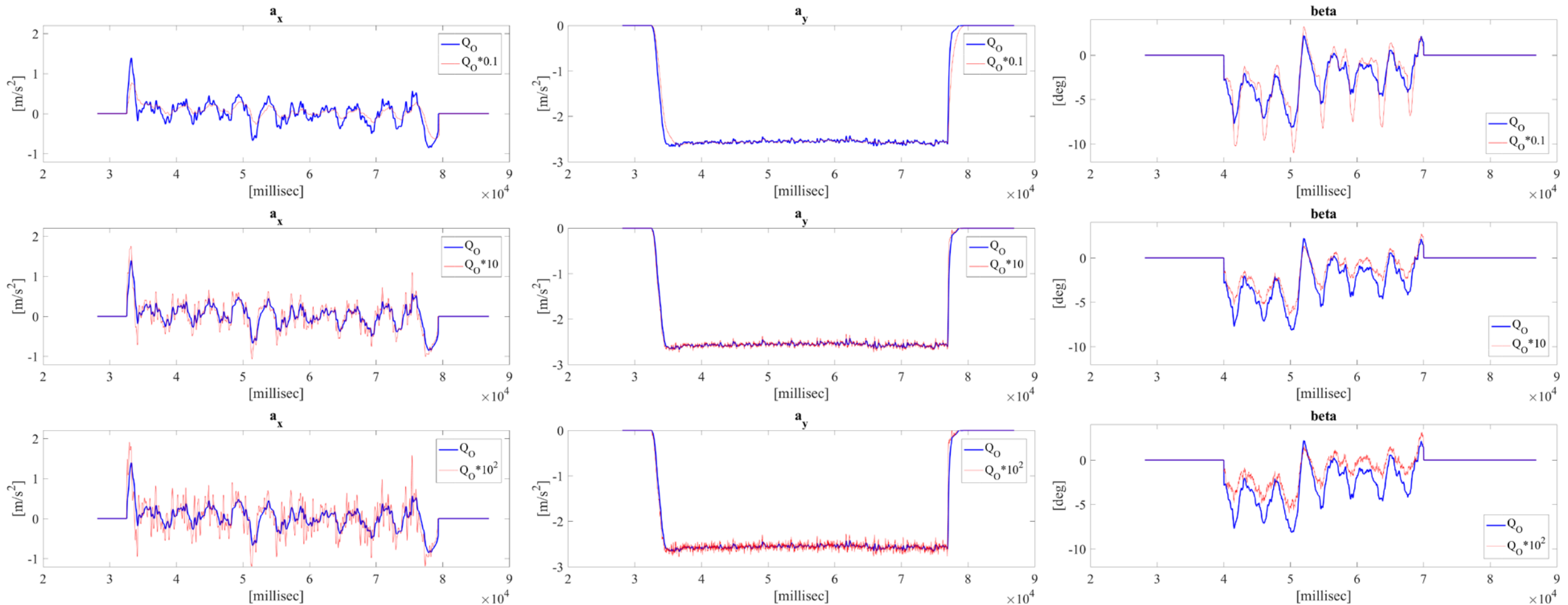
Appendice

Tecniche di sensor fusion in letteratura

	RETE NEURALE	LOGICA FUZZY	FILTRO DI KALMAN
Conoscenza del sistema	Sistema come una Black Box	Non richiede un modello dettagliato	Richiede un modello dinamico del sistema
Tipologie di sistemi	Adatto per sistemi non lineari	Adatto per diverse tipologie di sistemi	Adatto per sistemi lineari
Sviluppo iniziale	Richiede ampi campioni per l'apprendimento	Non presenta particolari problemi	Settaggio sperimentale
Relazione tra input e output	Sconosciuto	Facilmente comprensibile	Comprensibile

Appendice

Prove sul filtro di Kalman variando Q , matrice di covarianza del disturbo sullo stato (traiettoria circolare)



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRENTO

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCATRONICA



SVILUPPO E VALIDAZIONE SPERIMENTALE DI ALGORITMI DI LOCALIZZAZIONE E CONTROLLO DI UN VEICOLO AUTONOMO

Relatore:

Prof. FRANCESCO BIRAL

Correlatore:

MATTEO RAGNI

Candidato:

JACOPO MOLINAROLI