

# Ingegneria dei Sistemi Software

## A differential drive Robot

Beatrice Mezzapesa, Alessia Papini, Lorenzo Pontellini

Alma Mater Studiorum – University of Bologna  
via Venezia 52, 47023 Cesena, Italy  
{beatrice.mezzapesa, alessia.papini, lorenzo.pontellini}@studio.unibo.it

## 1 Introduction

Attraverso l'uso del seguente report, si vogliono esprimere i fatti e le interazioni avvenute nella gestione e sviluppo di un sistema software per il controllo di un robot in ambiente protetto. Un ulteriore scopo è quello di fornire uno storico per la gestione del processo produttivo del sistema software esprimendo fatti rilevanti attraverso l'uso di modelli formali interpretabili anche da personale non tecnico. Ci si avvale inoltre del supporto di un meta modello custom che permette di realizzare prototipi funzionanti abbattendo i tempi di testing del sistema. Il compimento e la gestione del seguente progetto si portano dunque al quarto livello dello standard CMM (Capability Maturity Model) cioè processo produttivo managed. Questo sta a significare come l'organizzazione sia capace di costruire prodotti software, impostando una fase di predizione dei costi e del piano di lavoro, basandosi su una classificazione dei compiti e dei componenti e su metriche di misura dei loro costi e tempi di sviluppo.

## 2 Vision

Parlando di robot, questi sistemi eterogenei software e hardware sono diventati sempre più pervasivi nell'ambito umano, sia da un punto di vista di utilità, si pensi solamente a quelli adibiti alla pulizia in maniera autonoma, ma anche dal punto di vista di semplici strumenti costruiti allo scopo di divertirsi e imparare che hanno portato alla generazione di un vero e proprio business. Quello sul quale ci si vuole concentrare è l'ambito delle Internet Of Things (IoT) che è un settore tutt'ora in espansione e per il quale, per fortuna, ancora non si conoscono limiti di utilizzo. Il corso proposto, e in generale l'Università si propone di fornire una serie di basi che spaziano dal punto di vista progettuale, implementando così anche le tecniche di Learn By Doing, a quella realizzativo di sistemi che possano essere a loro volta software factory per sistemi robotici immersi nelle differenti aree dell'IoT. Il campo di applicazione scelto, appunto quello dei robot, risulta possedere delle caratteristiche di forte dinamicità dettate dagli avanzamenti tecnologici fatti negli ultimi anni che richiedono un software sempre aggiornato all'ultima versione, in grado di funzionare correttamente in ogni condizione. Quest'ultimo si traduce nella stesura di software, sempre con meno tempo a

disposizione ma, che possa essere facilmente testato e validato. Per questi motivi a supporto dell'attività didattica di sviluppo software si vogliono sperimentare delle metodologie di produzione del software gestite da software factory, così da avere sempre una base di conoscenza consistente e che permettano la modifica e il riutilizzo di codice prodotto precedentemente, così da poterlo fare in tempi brevi per poi sottoporlo a verifiche da parte del personale. Per questi motivi il team prevede l'utilizzo di **Domani Specific Language** per la produzione di codice abbattendo i tempi e i costi di produzione e gestione.

### 3 Goals

L'obiettivo non è solamente quello di realizzare quanto descritto nella sezione delle richieste, ma prevede anche uno studio delle metodologie di realizzazione dei sistemi di questo tipo seguendo le linee guida esposte a lezione. Relativamente al problema in esame si vuole riconoscere e valutare la presenza di un abstraction gap già al termine della fase di analisi del problema, riuscendo inoltre a discriminare tra gli aspetti relativi al dominio in questione (**domain specific**) e quelli relativi alla realizzazione dell'applicazione (**application specific**), come l'ipotesi tecnologica influisca sul processo di produzione del software. Altro punto fondamentale sul quale si vuole porre attenzione è l'estensione del Domain Specific Language aziendale utilizzato così da poter costituire un patrimonio informativo comune sempre aggiornato con nuove soluzioni tecnologiche adatte a nuove problematiche evidenziate. La costituzione di un prototipo funzionante risulta essere un ulteriore goal da soddisfare, questo, come già detto, risulta essere realizzato con l'utilizzo della software factory, la quale, permette una rapida e robusta prototipazione al termine della fase di analisi consentendone la presentazione al committente per la pianificazione delle successive attività di progetto e sviluppo attraverso specifico workplan. Le linee guida alle quali si decide di ispirarsi sono quelle dettate dalla metodologia di sviluppo chiamata **SCRUM**, dalla quale cercheremo di sfruttare l'approccio di generazione e gestione del software.

## 4 Requirements

### 4.1 Fase 1

Progettare un sistema software che:

- Permetta ad un Differential Drive Robot, **DDR** di muoversi in maniera autonoma, da un punto prefissato A1, ad un punto prefissato A2, considerando un insieme di assunzioni sull'ambiente di azione del robot (nessun dislivello, nessun ostacolo).

## 5 Requirement analysis

Come specificato da requisiti, si identifica in maniera chiara l'ambito in cui si può insediare il sistema ovvero la gestione di robot. Da conoscenze precedentemente acquisite<sup>1</sup>, si cerca di seguito di specificare le caratteristiche fondamentali dell'ambito in questione.

Un robot è un sistema autonomo che esiste nel mondo fisico, e per questo soggetto alle leggi fisiche più comuni (gravità, perturbazioni magnetiche, ecc.). Esso è in grado, se opportunamente equipaggiato di percepire l'ambiente e reagire portando a termine dei compiti. Le parti che costituiscono un robot sono:

- **Corpo fisico:** così da poter operare e sorreggersi;
- **Sensori:** componente Hardware e Software in grado di rendere il robot abile a percepire un determinato stimolo presente nell'ambiente;
- **Effettori:** componente fisico che realizza l'attuatore;
- **Attuatore:** dispositivo Hardware che realizza un qualche compito;
- **Controller:** parte Software del robot che gli permette di essere autonomo.

Il comportamento del robot non è semplicemente identificato dallo specifico controller programmato, ma è una interazione completa tra le parti che costituiscono il robot stesso.

Vengono riportate ora una serie di caratteristiche identificative dei robot. Un robot può essere definito inoltre come agente autonomo intelligente quando possiede le caratteristiche di sopravvivere in un ambiente complesso. Nel caso in cui non sia necessario l'intervento umano, l'agente è definito completo.

- **SELF SUFFICENCY**

Abilità di sussistenza del robot verso se stesso, in un periodo di tempo prolungato

- **AUTONOMIA**

Libertà da controlli esterni, l'autosufficienza incrementa il livello di autonomia. Le modalità per cui un agente può controllarne un altro dipende dal livello di conoscenza dello stato, dei meccanismi interni dell'agente che deve essere controllato. Si ha maggiore autonomia se si è in grado di apprendere.

- **SITUADNESS**

Un agente è situato se acquisisce informazioni riguardo l'ambiente in cui vive solo grazie all'utilizzo di sensori che interagiscono con lo stesso. Un agente situato interagisce con il mondo senza l'intervento umano.

- **EMBODIEMENT**

Gli agenti vivono in un ambiente fisico e non si può prescindere da quello, questo ha influenza anche sulle caratteristiche che deve avere il robot e i compiti che è in grado di eseguire. Si vuole il più possibile sfruttare la relazione che esiste tra caratteristiche dell'ambiente e quelle del robot stesso.

- **ADATTATIVITA'**

Abilità di "adattarsi" di un robot alle caratteristiche dell'ambiente. L'agente presenta la stessa struttura a fronte di cambiamenti di condizioni dell'ambiente.

---

<sup>1</sup> Corso: Sistemi Intelligenti Robotici

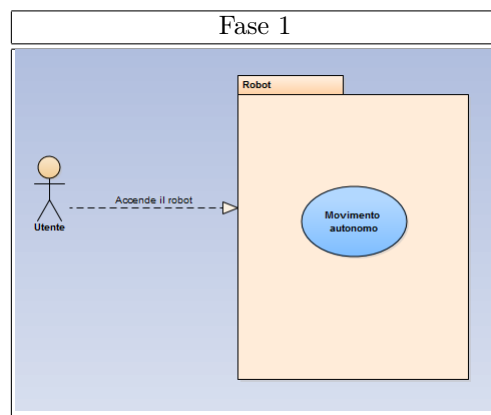
Dopo questa breve descrizione di alcune caratteristiche che identificano i robot, ci si concentra sui requisiti definiti dall'utente.

Si identifica la presenza di un sistema Hardware e Software eterogeneo distribuito, il robot e inoltre un "emettitore di segnali", la **console remota**, che quest'ultimo possa essere in grado di percepire agendo quindi di conseguenza. Da queste specifiche si evince facilmente che l'area di interesse del sistema in questione è quella dei robot.

Possiamo definire una serie di meta-requisiti relativamente all'area di interesse:

- Possiamo dire che un Differential Drive Robot è una entità in grado di eseguire una serie di comandi di movimento, il comando può essere richiamato da un elemento esterno al robot chiamato Mind.
- Il componente Mind può essere messo in esecuzione sullo stesso supporto computazionale del robot o su di uno a parte. Nel primo caso diremo che il robot è controllato in maniera **Embedded-mode**, mentre nel secondo caso diremo che il robot è controllato in **Avatar-mode**.
- Una sequenza di comandi di movimento emesse dalla Mind è chiamata Piano.

## 5.1 Use cases



## 5.2 Scenarios

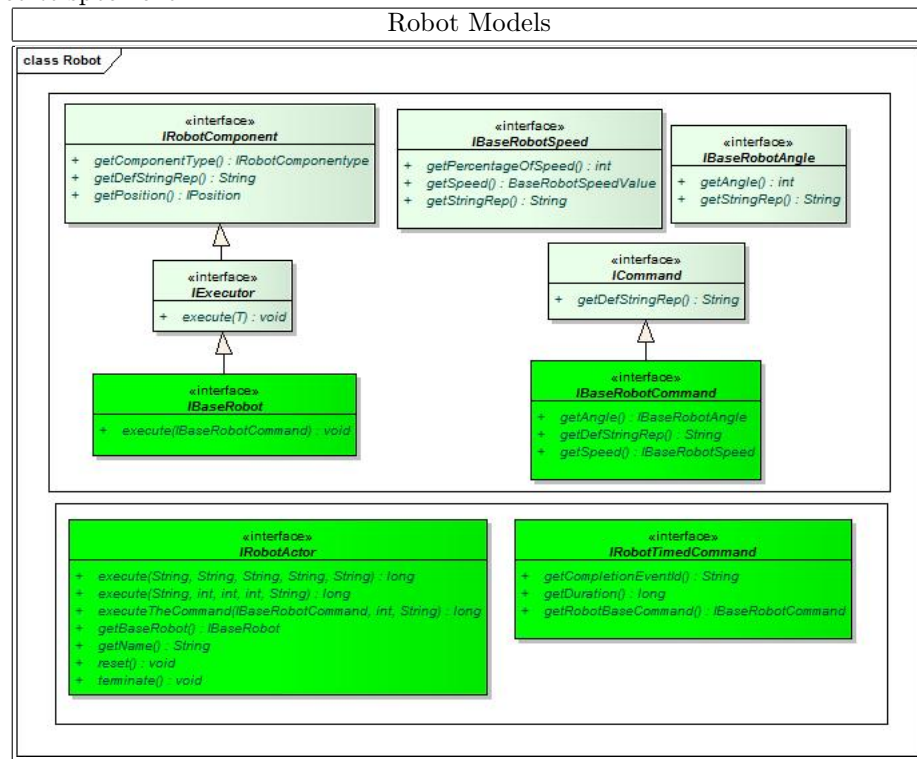
|                      |  |
|----------------------|--|
| ID:                  | Movimento autonomo.  |
| Descrizione:         | Il robot si muove da un punto A1 ad un punto A2 in maniera autonoma  |
| Attore:              | Robot  |
| Precondizione:       | Il robot deve essere acceso e deve arrivare in A1.   |
| Scenario Principale: | Vengono eseguiti i comandi del piano per portarlo in A2, nel frattempo potrei anche attraversare l'area sensibile e quindi individuarne l'ingresso e l'uscita. |
| Scenario Secondario: | Se venisse percepito un comando di halt da console remota, il sistema e quindi il robot si ferma.  |
| Postcondizione:      | Il robot è in A2.  |

### 5.3 (Domain)model

In questa sezione viene analizzato il dominio fornito dall'attuale know-how aziendale. Esso viene descritto tramite una analisi incentrata sulle tre dimensioni fondamentali, caratteristiche di analisi del software<sup>2</sup>, ovvero: struttura, interazione e comportamento. Si identificano i seguenti componenti, le cui caratteristiche saranno specificate in sezioni apposite, che vengono utilizzate come base di partenza per la realizzazione del sistema:

- BaseRobot;
- Mossa/Comando.

**BaseRobot** Un BaseRobot è un componente POJO (Plain Old Java Object) ovvero un componente Java non legato ad alcuna restrizione diversa da quelle dovute dalle specifiche del linguaggio Java stesso, che può essere istanziato per eseguire una serie di comanditramite interazione a procedure-call. Esso rappresenta l'astrazione di un robot fisico costituito da una serie di attuatori ed anch'esso in grado di eseguire comandi predefiniti. In questa fase nulla più si può dire riguardo alla struttura fisica del robot stesso senza entrare troppo nel dettaglio, non essendo questa la parte di documentazione relativa al trattamento di certe specifiche.



<sup>2</sup> Corso: Ingegneria del Software

**Mossa/Comando** Un comando risulta essere un'istruzione di base per il robot che gli permette di effettuare qualcosa che ha un impatto sul mondo fisico nel quale il robot è situato. Le interfacce fornite prevedono la definizione di comandi a differenti livelli di specializzazione.

## 5.4 Test plan

**TestPlan Base Robot** I test possono essere trovati nel package *it.unibo.test.baseRobot* ne viene riportato un estratto

| Test Base Robot  |
|--|
| <pre>package it.unibo.test.baseRobot;  import static org.junit.Assert.*;  public class BaseRobotTest {      IBaseRobot baserobot;     IBaseRobotCommand cmd;      @Before     public void setup() {         baserobot = new MockBaseRobot();         cmd = new BaseRobotCommandMock();     }      @Test     public void testForward() {         if (baserobot instanceof ISimulatedWorldRef) {             ISimulatedWorldRef baseRefRobot = (ISimulatedWorldRef) baserobot;             BaseRobotForward fw = new BaseRobotForward(new BaseRobotSpeed(100));             baserobot.execute(fw);             assertTrue("forwardTest",                 baseRefRobot.getGlobalPosition().x &gt; 0);         }     }      public void testBackward() {}      @Test     public void testLeftMov() {         if (baserobot instanceof ISimulatedWorldRef) {             ISimulatedWorldRef baseRefRobot = (ISimulatedWorldRef) baserobot;             BaseRobotLeft lft = new BaseRobotLeft(new BaseRobotSpeed(100));             baserobot.execute(lft);             assertTrue("leftMovTest",                 baseRefRobot.getGlobalPosition().y &lt; 0);         }     }      public void testRightMov() {} }</pre> |

**TestPlan Comando** I test possono essere trovati nel package *it.unibo.test.command* ne viene riportato un estratto

| Test Command   |
|--|
| <pre>public class CommandTest {      ICommand command;     IBaseRobotCommand baseCmd;     IBaseRobotSpeed speed;     IBaseRobotAngle angle;     MovementValue movement;     String cmdName = "test";      public void setup() {}      @Before     public void setupForBase() {         speed = new BaseRobotSpeed(100);         angle = new BaseRobotAngle(0);         baseCmd = new BaseRobotCommand(speed, angle, movement);     }      @Test     public void testStrRep() {         String cmdRepStart = cmdName + "(";         String cmdRepEnd = ")";         assertTrue("goodStartRep",             command.getDefStringRep().startsWith(cmdRepStart));         assertTrue("goodEndRep", command.getDefStringRep().endsWith(cmdRepEnd));     }      @Test     public void testBaseRobotCmdStrRep() {         String stringRepStart, stringRepEnd;         stringRepStart = "robotCommand(";         if (angle == null)             stringRepEnd = "," + speed.getStringRep() + ")";         else             stringRepEnd = "," + speed.getStringRep() + ","                 + angle.getStringRep() + ")";         assertTrue("goodStartRep",             baseCmd.getDefStringRep().startsWith(stringRepStart));         assertTrue("goodEndRep",             baseCmd.getDefStringRep().endsWith(stringRepEnd));     } }</pre> |

## 6 Problem analysis

Tramite la fase di analisi del modello del dominio, sono state descritte le specifiche del sistema in relazione alle richieste del committente, il successivo passo è quello di identificare il problema e svolgere un'analisi dello stesso iniziando

ad identificare i sotto-sistemi che compongono il sistema nella sua interezza, e i loro componenti. Il tutto ha lo scopo di fornire un'**architettura logica** consona allo scopo identificato e di essere abbastanza flessibile da permettere di adattarsi senza troppe modifiche e problematiche, permettendo la definizione di un primo prototipo funzionante del sistema richiesto. L'ultimo tassello sarà la progettazione del sistema, prima di fare ciò però, occorre identificare l'abstraction gap e i modi per poterlo colmare evidenziando inoltre i rischi e le modalità di fronteggiare lo stesso durante le successive fasi di sviluppo del software. Dopo aver fatto chiarezza sull'ambito di interesse del problema in questione avendo descritto il modello del dominio nel quale ci caliamo, si individuano le problematiche che ci si pongono davanti per portare a termine il progetto. Si cerca inoltre di ricondursi a problematiche ricorrenti fornendo concetti utili per affrontare le successive fasi previste di progettazione e realizzazione del prodotto finale.

## 6.1 Problematiche identificate

Ciò di cui disponiamo a questo livello è solo un componente POJO che realizza le caratteristiche associate ad un BaseRobot (precedentemente descritto nella sezione di analisi del dominio), da quanto studiato in Sistemi Intelligenti Robotici, e ripreso in maniera veloce nella fase di introduzione ai requisiti, il robot per funzionare ha bisogno di un componente apposito che ci permetta di controllarlo a livello applicativo. Si vuole, rimanendo fedeli a tale definizione, disaccoppiare il controllo dall'effettivo esecutore. Questo perchè risulta una scelta vincente dal punto di vista ingegneristico della separazione dei concetti. Il robot è quindi in grado di eseguire una serie di comandi, inviati da un elemento esterno chiamato Mind. La Mind può essere eseguita sullo stesso supporto di esecuzione del robot o in modo separato. In questo caso si è ritenuto opportuno utilizzare lo stesso supporto, controllando quindi il robot in embedded-mode. Il robot deve avere la capacità di riconoscere una serie di comandi che gli permettano di muoversi e che saranno eseguiti dagli attuatori. E' necessario poter specificare il tipo di comando, ovvero la direzione verso la quale il robot deve muoversi e la potenza da assegnare a ciascun motore. Inoltre è essenziale poter intervallare i comandi eseguiti dal robot, in modo da definire la fine di un comando e l'inizio del successivo.

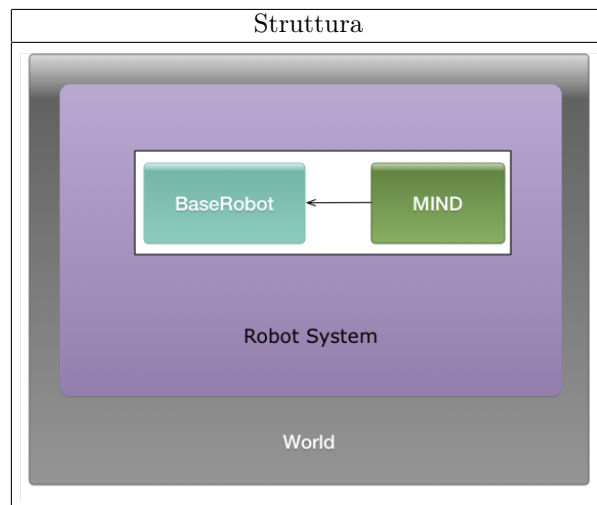
**CONCLUSIONI PARZIALI** Si è ora in grado di poter descrivere un sistema robotico in maniera abbastanza completa relativamente anche alle caratteristiche complesse dell'agente. La successiva caratteristica che emerge dai requisiti è quella di autonomia relativamente alle richieste dell'utente. Come descritto precedentemente, si parla di autonomia di un robot quando non è prevista l'interazione con l'utente durante l'esecuzione di un compito assegnato, quindi in grado di auto-governarsi seguendo leggi e strategie predeterminate.



## 6.2 Logic architecture

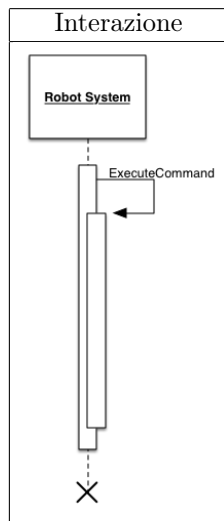
Ci poniamo nell'ottica di ottenere un modello del sistema funzionante e globalmente accettato da tutte le parti in gioco, identificando i macro sottosistemi senza specificare nulla più di quanto già detto precedentemente. Il tutto rimanendo indipendenti dalla specifica tecnologia che si utilizzerà e demandando queste decisioni solo durante la fase di progetto.

**Struttura** Da quanto detto, si identifica il sistema robot che esegue una serie di azioni all'interno del mondo. Questo identifica l'**ecosistema** in cui opera il robot e possono essere situati altri eventuali sistemi esterni presenti.

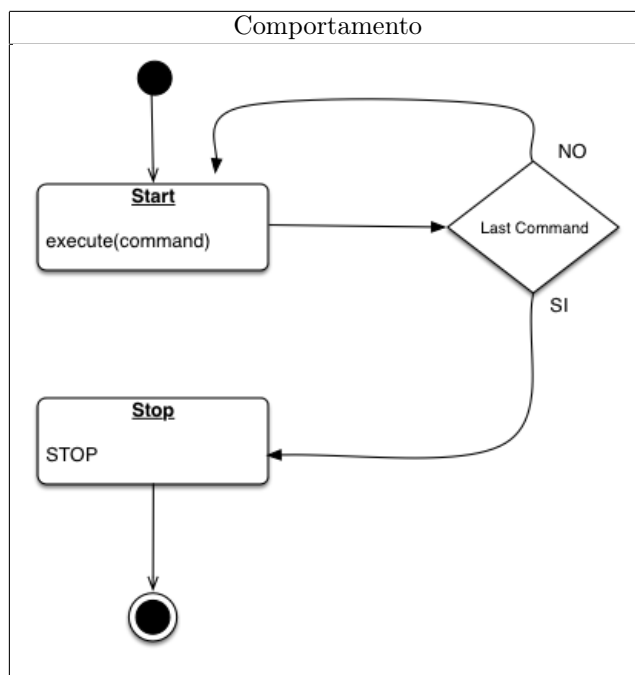


All'interno del diagramma si è voluto anche rappresentare il "**mondo**", situando così il robot ed identificando il contesto di esecuzione.

**Interazione** Il RobotSystem in questa prima fase interagisce con il mondo solo tramite l'esecuzione di una azione tramite l'uso degli appositi attuatori. Non sono quindi previste altre tipologie di comunicazioni.

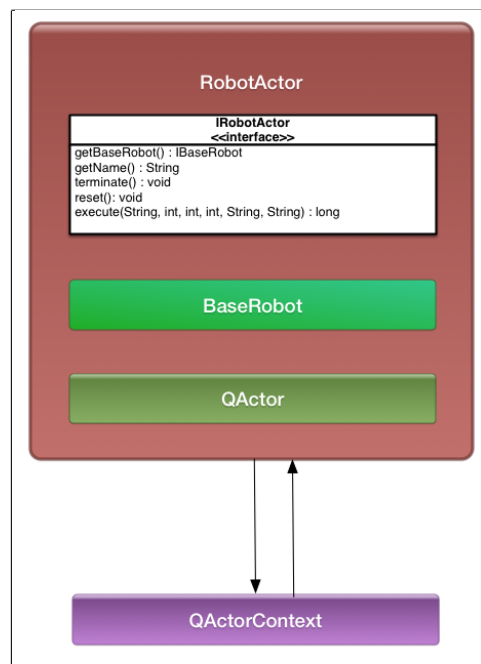


**Comportamento** Il comportamento del robot in questa prima fase può essere spiegato tramite l'uso di un'automa a stati finiti.



### 6.3 Abstraction gap

In questa fase ci si rende conto che l'ipotesi tecnologica di partenza, ovvero Java e la programmazione object oriented, è in grado di soddisfare le problematiche fino a qui identificate. Per un'implementazione più robusta, a partire dall'object oriented programming, viene introdotto il layer QActor. QActor è un framework che implementa un sistema software in grado di supportare il message-passing. Un QActor, infatti, è un'entità attiva che esegue codice Java estendendolo con operazioni base per l'invio e la ricezione di messaggi. Per la risoluzione del problema si utilizza la classe RobotActor che usufruisce del framework QActor e permette di interagire con il BaseRobot senza la necessità di utilizzare, in questa fase, lo scambio di messaggi.



### 6.4 Risk analysis

Non sono stati identificati rischi significativi in questa prima fase di gestione del sistema.

## 7 Work plan

Il Piano di lavoro prevede una prima fase di analisi dei requisiti esposti per fornire una solida base alle successive fasi; si vuole ottenere un modello del dominio non ambiguo e condiviso con il committente, e quindi considerante i requisiti nella

loro globalità. Si vuole inoltre svolgere un'analisi relativamente ai problemi identificati per produrre una architettura logica solida che permetta di testare un primo prototipo, inizialmente virtuale, che soddisfi i requisiti. Non appena il prototipo sarà realizzato basterà creare una configurazione appropriata del robot a disposizione del gruppo e si potrà testare anche con prove reali se quanto portato in simulazione funzioni. Si usa un approccio di lavoro incrementale al problema così da permettere una rapida reindirizzazione nel caso scelte fatte portino ad errori progettuali.

## 8 Project

Il progetto risulta essere così suddiviso in package:

- **it.unibo.quactor.robot.primafase**: contiene le classi di gestione del robot
- **it.unibo.robot.utils**: contiene classi utili al funzionamento del RobotActor

### 8.1 Structure

### 8.2 Interaction

### 8.3 Behavior

## 9 Implementation

La fase di implementazione risulta essere agevolata dall'uso della sovra struttura realizzata dalla classe RobotActor utilizzata. Infatti per questa prima fase è bastato richiedere l'istanza di BaseRobot relativa e farle eseguire i comandi specifici.

```
1 package it.unibo.quactor.robot.primafase;
2 import it.unibo.iot.executors.baseRobot.IBaseRobot;
3
4
5
6
7
8
9 public class RobotActorBaseUsage extends RobotActor{
10     public RobotActorBaseUsage( String id, ActorContext myCtx, String planPath, IOutputEnvView outView,
11         IBaseRobot baseRobot, String defaultPlan ) throws Exception{
12         super( id, myCtx, planPath, outView, baseRobot, defaultPlan );
13     }
14     @Override
15     protected void doJob() throws Exception {
16         doMove();
17     }
18     protected void doMove() throws Exception{
19         println("Hello!");
20
21         IBaseRobotCommand command = RobotSysKb.FORWARD;
22         baseRobot.execute(command);
23         Thread.sleep(1000);
24
25         command = RobotSysKb.LEFT;
26         baseRobot.execute(command);
27         Thread.sleep(1500);
28
29         command = RobotSysKb.FORWARD;
30         baseRobot.execute(command);
31         Thread.sleep(1000);
32
33         println("bye bye");
34     }
35 }
36
37
```

## 10 Testing

La fase di testing è stata eseguita prima in modalità **mock** ovvero virtuale poi senza ulteriore sforzo ma semplicemente avendo definito la configurazione del robot si è potuto testare anche l'effettivo funzionamento del robot reale.

## 11 Deployment

Il nostro Differential Drive Robot viene realizzato attraverso un RaspberryPi su cui è mandata in esecuzione l'intera infrastruttura multilayer. La connessione al sistema distribuito avviene tramite rete WiFi(natspot), ma è anche possibile una connessione attraverso porta ethernet, avente un indirizzo ip statico (192.168.137.2). Si riporta di seguito il file di configurazione relativo al robot usato in fase di testing

```
1 #
2 motor.left=gpio.motor
3 motor.left.pin.cw=0
4 motor.left.pin.ccw=2
5 motor.left.private=false
6 #
7 motor.right=gpio.motor
8 motor.right.pin.cw=5
9 motor.right.pin.ccw=4
10 motor.right.private=false
11 #Sensors
12 #line
13 #line.front=gpio.button
14 #line.front.pin=8
15 #line.front.active_low=true
16 #
17 #
18 #distance.front=hcsr04
19 #distance.front.trig=1
20 #distance.front.echo=3
21 #distance.front=process
22 #distance.front.exec=configuration/talos/hc-sr04
23 #
24 #-----
25 #   COMPOSED COMPONENT
26 #-----
27 actuators.bottom=ddmotorbased
28 actuators.bottom.name=motors
29 actuators.bottom.comp=motor.left,motor.right
30 actuators.bottom.private=true
31 #-----
32 #   MAIN ROBOT
33 #-----
34 baserobot.bottom=differentialdrive
35 baserobot.bottom.name=talos
36 baserobot.bottom.comp=actuators.bottom
37 baserobot.bottom.private=false
```

## 12 Maintenance

Eventuale manutenzione evolutiva del sistema viene semplificata dalla possibilità di estendere il RobotBase con l'utilizzo di nuovi layer per lo svolgimento di operazioni specifiche. Cambiare e mantenere applicazioni cotruite con lo stesso approccio seguito per questo progetto (Model Driven Development) risulta essere più semplice in quanto si sfruttano modelli e un linguaggio di alto livello. Uno dei problemi dello sviluppo del software degli ultimi anni è che i requisiti del business tendono a cambiare più velocemente dei sistemi software che li implementano. Utilizzando un approccio MDD si può però risolvere questa problematica infatti se c'è un collegamento esplicito fra i requisiti del business e il modello del dominio dell'applicazione, è anche possibile propagare parte dei cambiamenti automaticamente. Sono frequenti inoltre i cambiamenti dovuti alle differenti tecnologie utilizzate, anche in questo caso MDD permette di non dover cambiare il modello dell'applicazione quando si vuole cambiare la tecnologia di implementazione avendolo utilizzato come punto fermo della realizzazione progettuale.

### 13 Information about the author

| Beatrice Mezzapesa  | Alessia Papini  | Lorenzo Pontellini   |
|---|---|--|
|  |  |  |