

POLITECNICO DI TORINO

---

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea

# Dimensionamento di un braccio robotico a 6 assi

Progetto rover Trinity - Team DIANA



**Relatore**  
prof. Stefano Pastorelli

**Laureando**  
Luigi DI RADO  
matricola: 204427

ANNO ACCADEMICO 2019 – 2020

# Ringraziamenti

# Indice

<b>1 Rover Esplorativi e di Assistenza: Scenari di missione</b>	5
1.1 Dall'esplorazione robotica all'assistenza di equipaggi . . . . .	6
1.2 Rover Challenge Series: regolamento e requisiti nelle competizioni tra Rover	6
1.3 Scenari affrontati nelle competizioni e ruolo di un manipolatore robotico .	7
1.3.1 Manutenzione . . . . .	7
1.3.2 Raccolta di campioni scientifici . . . . .	8
1.3.3 Scenario Fetch and Collect . . . . .	8
<b>2 Analisi preliminare dei requisiti</b>	9
2.1 Tabella dei requisiti derivati dal progetto e dal regolamento . . . . .	9
2.2 Workspace necessario . . . . .	10
2.3 Confronto con i robot industriali a 6 gradi di libertà . . . . .	10
<b>3 Design di un manipolatore a 6 gradi di libertà</b>	11
3.1 Task di manipolazione e destrezza: Worst case . . . . .	11
3.2 Modello multicorpo . . . . .	11
3.3 Descrizione del modello di Robot scelto . . . . .	11
3.3.1 Link: elenco e carichi strutturali stimati . . . . .	11
3.3.2 Joints: elenco e potenze meccaniche necessarie . . . . .	11
<b>4 Attuatori per un progetto di robotica low-cost</b>	13
4.1 Motoriduttori Passo-Passo . . . . .	13
4.1.1 Trasmissione del Moto e componenti utilizzati . . . . .	13
4.1.2 Cenni di controllo ad anello aperto . . . . .	13
4.2 Attuatori Lineari . . . . .	13
4.2.1 Dimensionamento del cinematismo Joint 3 . . . . .	13
4.3 Servomotori digitali: Dynamixel MX160 . . . . .	13
4.3.1 Scelta ed integrazione, i vantaggi di un attuatore specifico per im- piego robotico . . . . .	13
<b>5 Polso sferico, design e scelte progettuali</b>	15
5.0.1 Descrizione . . . . .	15
5.0.2 Ingombri ed integrazione . . . . .	15
5.0.3 Scelta dei Cuscinetti . . . . .	15

<b>6 Trasmissione del moto, analisi e dimensionamento dei cinemismi utilizzati</b>	17
6.0.1 Metodo di Lewis . . . . .	17
6.0.2 Riduzione del numero minimo di denti: ingranamento elicoidale . .	17
6.0.3 Dimensionamento di un rotismo stampato in 3D, compromessi e assunzioni . . . . .	17
6.0.4 Risultati ottenuti dal dimensionamento . . . . .	17
6.0.5 Compromesso tra dimensionamento e ingombri . . . . .	17
<b>7 Costruzione mediante manifattura additiva e assemblaggio</b>	19
7.0.1 Studio del materiale da stampa ABSPlus P430 . . . . .	19
7.0.2 Produzione dei componenti . . . . .	19
7.0.3 Assemblaggio . . . . .	19
<b>8 Risultati attesi ed ottenuti dal Robot realizzato</b>	21
8.0.1 Test e collaudo del Robot assemblato . . . . .	21
8.0.2 Carichi massimi applicati e precisione ottenuta . . . . .	21
8.0.3 Risultati nelle Competizioni studentesche . . . . .	21
<b>Disegni ed elaborati tecnici</b>	23
<b>Bibliografia</b>	24

# Capitolo 1

## Rover Esplorativi e di Assistenza: Scenari di missione

Il team DIANA, acronimo di *Ducti Ingenio Accipimus Naturam Astrorum*, lavora nella ricerca e nello sviluppo della robotica per applicazioni spaziali. Il Team è stato fondato nel 2008 in occasione del progetto nazionale AMALIA e ha prodotto tre prototipi di rover: **Amalia**, un rover lunare esplorativo, **T0-R0**, un rover marziano di assistenza che ha partecipato a European Rover Challenge 2018 e **TRINITY**, il nuovo rover marziano che ha partecipato all'European Rover Challenge 2019.

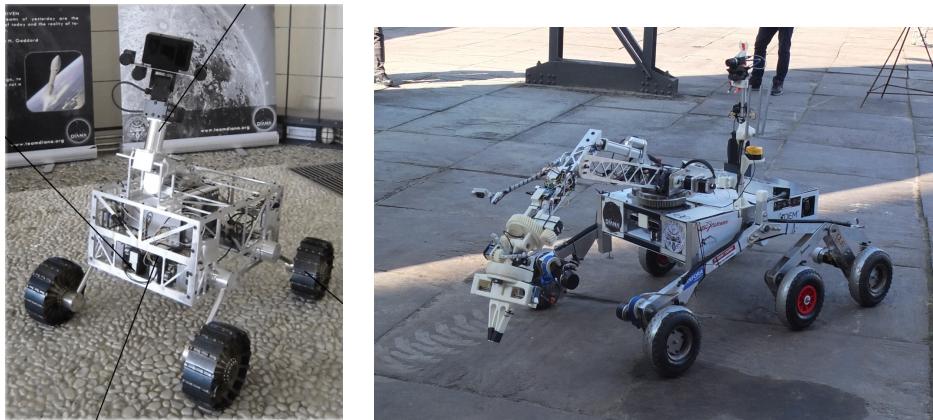


Figura 1.1. Rover AMALIA E T0-R0

Il team DIANA ha un’esperienza decennale nella progettazione e nello sviluppo di modelli di rover per l’esplorazione e l’assistenza e dispone di un set completo di abilità ingegneristiche, ottima conoscenza del software ed eccezionali capacità organizzative, gestionali e di lavoro di squadra, tutte cruciali nella produzione di un progetto complesso. Il team intende porre le basi per un nuovo approccio all’ingegneria aerospaziale, contribuendo a portare la robotica spaziale a un livello più accessibile grazie alla sua tecnica di lavoro innovativa. TRINITY è il prodotto del patrimonio e della competenza di dieci anni di duro

lavoro e ricerca approfondita, condotta con una visione chiara e un approccio specifico. Il team sta affrontando una crescita dal 2018 e la partecipazione all’European Rover Challenge ha avuto un ruolo chiave nel suo sviluppo poiché rappresenta un’opportunità senza precedenti per testare le soluzioni del team e capire dove e come migliorare il suo progetto.



Figura 1.2. Il Team DIANA con TRINITY ad ERC 2019

Nell’ambito del team DIANA che sta diventando un forte gruppo di giovani ingegneri che lavorano nella ricerca e nello sviluppo della robotica spaziale, testare il lavoro svolto in laboratorio è un passo cruciale nello sviluppo. Inoltre, il Team DIANA ha vissuto l’European Rover Challenge come un evento eccezionale, in grado di riunire ingegneri appassionati e qualificati in un ambiente internazionale.

Pertanto, per essere una fonte di competenza, un campo per i test e un’opportunità senza precedenti di crescita e raccolta, la partecipazione all’European Rover Challenge 2019 è senza dubbio un’esperienza necessaria e profondamente desiderata per il Team DIANA.

## 1.1 Dall’esplorazione robotica all’assistenza di equipaggi

I Rover di assistenza progettati dal Team DIANA rappresentano dei modelli di future missioni dove i Rover vengono impiegati nell’assistenza ad un equipaggio umano. Viene a cadere il presupposto per cui le sonde esplorative operano in scenari unmanned e il ruolo dell’operatore diventa centrale nella progettazione del Robot. Esso dovrà avere quanto più possibile un funzionamento autonomo per non sottrarre risorse all’utilizzatore, considerare la presenza di esseri umani nel suo workspace e portare a termine mansioni in ambienti rischiosi per l’essere umano.

## 1.2 Rover Challenge Series: regolamento e requisiti nelle competizioni tra Rover

Le Rover Challenge Series Competitions a cui il Team DIANA rivolge il suo interesse sono competizioni dedicate a studenti dell’area di Ingegneria che mirano a testare i progetti di

Rover in uno scenario che simula le mansioni di un Rover di Assistenza. Si stimola la costituzione di team multidisciplinari che vanno a realizzare un prototipo per competere, corredata da una completa reportistica ispirata alla metodologie attuate nelle principali agenzie spaziali e della documentazione video. Viene inoltre richiesta la gestione del team attraverso strumenti di project management e la gestione finanziaria di stampo aziendale.



Figura 1.3. Terreno marziano a European Rover Challenge 2019

## 1.3 Scenari affrontati nelle competizioni e ruolo di un manipolatore robotico

Le competizioni si svolgono su un terreno accidentato, realizzato da esperti di terrameccanica che vanno a simulare il più possibile uno scenario marziano. Le task vengono svolte in un tempo limitato con il Robot teleoperato e gli operatori sono isolati dalla vista diretta all'interno di una control room.

L'unica task che non coinvolge l'uso del manipolatore robotico è quella di **Navigazione autonoma** che non tratteremo. Pertanto segue l'analisi degli scenari di utilizzo.

### 1.3.1 Manutenzione

La maintenance task come definita dal regolamento *ERC 2019 Student Rules* [1]

*The maintenance task is intended to demonstrate rovers and teams ability and performance in operating electrical panel on which several switches and other electrical components are mounted. The Team has to use rover's manipulating device to set switches to correct positions, measure electrical parameters, set other panel controls and observe device feedback.*

**Successione di operazioni da svolgere :**

1. MAIN switch set to ON position as first;

2. Group 1 and Group 2 switches set up to requested positions;
3. knob set up to requested position
4. voltage measurement reported to the judge
5. High-power plug inserted into the sock
6. No panel damage events occurred (control elements, connectors, covers, foils)
7. task automation efforts and results presented to the judge.

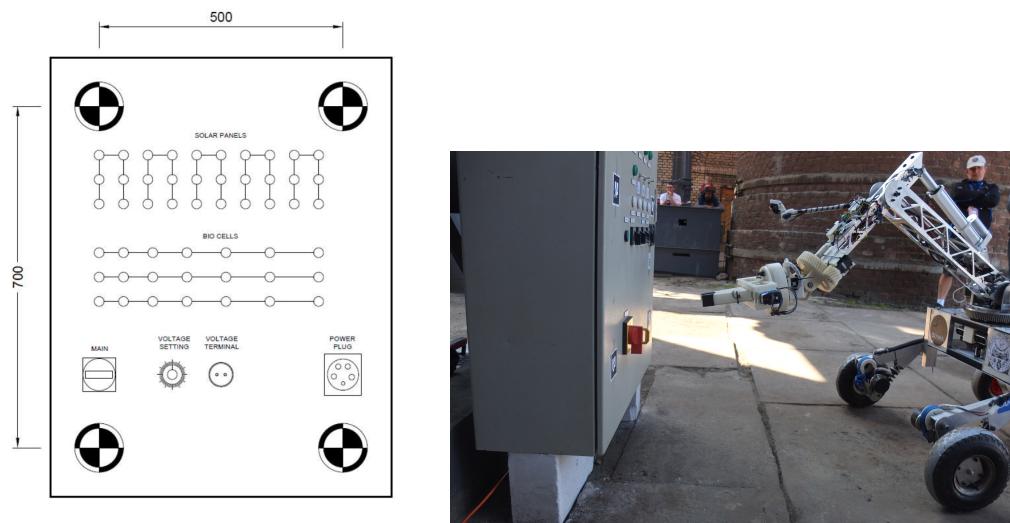


Figura 1.4. Pannello Elettrico e Rover durante la Task

### 1.3.2 Raccolta di campioni scientifici

### 1.3.3 Scenario Fetch and Collect

# Capitolo 2

## Analisi preliminare dei requisiti

Ogni progetto di applicazione aerospaziale, come quello svolto per il Rover Trinity, parte dall'analisi dei requisiti di progetto e dalla formalizzazione dei requisiti in maniera codificata. La tracciabilità dei requisiti, analizzati a partire da uno scenario di missione e dalla vigente normativa è fondamentale all'interno di un progetto aerospaziale perchè consente di semplificare gli sviluppi futuri. La costituzione di un database di requisiti, lezioni apprese e errori commessi nel caso in cui i requisiti vengano disattesi consente di abbattere i costi e le tempistiche di sviluppo di progetti futuri evitando la ripetizione di esperimenti ed errori commessi in passato.

### 2.1 Tabella dei requisiti derivati dal progetto e dal regolamento

ORIGIN	REQUIREMENT	TECHNICAL SOLUTION	VALIDATION
RULES	Arm system must be able to reach the ground, use max of upper surface of chassis, reach 1.5 m of height, manipulate elements	Anthropomorphic arm, with 6 DoFs: from literature, solution with greater dexterity	CAD design (along with Rover Chassis); Matlab script of arm workspace; multibody model

RULES	Arm system must be able to lift at least a 5 Kg payload	Arm actuated by stepper motors, linear actuator and dynamixel servo motors with high torque	CAD design with Arm; Matlab script of arm workspace; multibody model; FEM model; Lewis theory
MISSION	Arm system must have high operative speed, without sacrificing accuracy (target of tool center point of $1cm^2$ )	Implementation of control system of stepper motors, linear actuator and Dynamixel; position control system	Simulink model; inverse kinematics study
MISSION	Arm must allow to reach the elements of the panel with the rover positioned at 0.5 m from it with toll perpendicular to panel	Spherical wrist; 3 DoFs on structure; 3 DoFs on wrist	CAD design; Matlab script for arm workspace; multibody model

## 2.2 Workspace necessario

Il workspace richiesto per il manipolatore deriva dalle richieste del regolamento e dallo scenario operativo. Si può riassumere nella necessità di raggiungere un'altezza di 1,5 metri e quella del suolo e operare sullo chassis del rover per depositare oggetti e campioni. Il workspace è stato valutato attraverso un semplice calcolo iterativo di cinematica diretta dove la struttura era parametrizzata attraverso le lunghezze dei link. L'obiettivo è quello di realizzare uno spazio di lavoro sufficiente piazzando la posizione dell'Tool Center Point per ogni iterazione in una vista laterale.

## 2.3 Gradi di libertà necessari

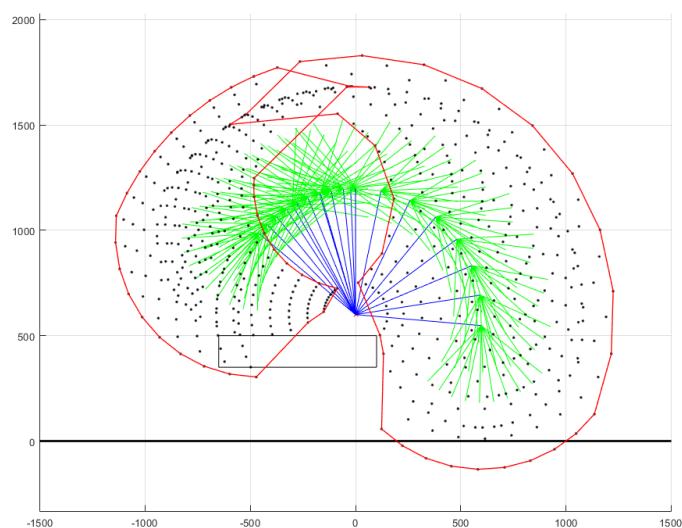


Figura 2.1. Workspace in vista laterale, è rappresentato il piano dello chassis e i punti raggiunti dal TCP



# **Capitolo 3**

## **Design di un manipolatore a 6 gradi di libertà**

- 3.1 Task di manipolazione e destrezza: Worst case**
- 3.2 Modello multicorpo**
- 3.3 Descrizione del modello di Robot scelto**
  - 3.3.1 Link: elenco e carichi strutturali stimati**
  - 3.3.2 Joints: elenco e potenze meccaniche necessarie**



# Capitolo 4

## Attuatori per un progetto di robotica low-cost

### 4.1 Motoriduttori Passo-Passo

#### 4.1.1 Trasmissione del Moto e componenti utilizzati

Joint 1

Joint 2

#### 4.1.2 Cenni di controllo ad anello aperto

### 4.2 Attuatori Lineari

#### 4.2.1 Dimensionamento del cinematismo Joint 3

### 4.3 Servomotori digitali: Dynamixel MX160

#### 4.3.1 Scelta ed integrazione, i vantaggi di un attuatore specifico per impiego robotico

Controllo in coppia



## Capitolo 5

# Polso sferico, design e scelte progettuali

5.0.1 Descrizione

5.0.2 Ingombri ed integrazione

5.0.3 Scelta dei Cuscinetti



## Capitolo 6

# Trasmissione del moto, analisi e dimensionamento dei cinematismi utilizzati

- 6.0.1 Metodo di Lewis
- 6.0.2 Riduzione del numero minimo di denti: ingranamento elicoidale
- 6.0.3 Dimensionamento di un rotismo stampato in 3D, compromessi e assunzioni
- 6.0.4 Risultati ottenuti dal dimensionamento
- 6.0.5 Compromesso tra dimensionamento e ingombri



## **Capitolo 7**

# **Costruzione mediante manifattura additiva e assemblaggio**

**7.0.1 Studio del materiale da stampa ABSPlus P430**

**7.0.2 Produzione dei componenti**

**7.0.3 Assemblaggio**



## **Capitolo 8**

# **Risultati attesi ed ottenuti dal Robot realizzato**

- 8.0.1 Test e collaudo del Robot assemblato**
- 8.0.2 Carichi massimi applicati e precisione ottenuta**
- 8.0.3 Risultati nelle Competizioni studentesche**



# **Disegni ed elaborati tecnici**

# Bibliografia

- [1] European Rover Challenge, *Student Rules*, ERC, gennaio 2019
- [2] E. Torricelli, in “La pressione barometrica”, *Strumenti Moderni*, Il Porcellino, Firenze, 1606.
- [3] E. Torricelli e A. Vasari, in “Delle misure”, *Atti Nuovo Cimento*, vol. III, n. 2 (feb. 1607), p. 27–31.
- [4] Duane J.T., *Learning Curve Approach To Reliability Monitoring*, IEEE Transactions on Aerospace, Vol. 2, pp. 563-566, 1964