PRIMO

None

None

None

Table of contents

1. Benvenuto in PRIMO: il tuo primo passo nella robotica 4
   - 1.1 Che cos’è PRIMO 4
   - 1.2 Cosa imparerai attraverso questo sito 4
   - 1.3 Perché è importante studiare la robotica oggi 5
   - 1.4 Come usare questo sito passo dopo passo 5
2. Cos’è la robotica? 6
   - 2.1 Cos'è un robot industriale 6
   - 2.2 Automazione ≠ Robotica 6
   - 2.3 Dove si usano i robot oggi 6
   - 2.4 Cos'è un manipolatore articolato 6
3. Struttura Robotica 8
   - 3.1 Cosa sono gli assi e i gradi di libertà 8
   - 3.2 Cinematica diretta e cinematica inversa 8
   - 3.3 Che struttura ha PRIMO 8
   - 3.4 Cinematica a catena aperta (visiva) 8
4. Componenti principali di PRIMO 9
   - 4.1 Struttura generale 9
   - 4.2 Motori passo-passo 9
   - 4.3 Giunti rotazionali 9
   - 4.4 Supporti e snodi 9
   - 4.5 Controller e driver 9
   - 4.6 In sintesi 10
5. Controllo del Robot PRIMO 11
   - 5.1 Differenza tra controllo Open-Loop e Closed-Loop 11
   - 5.2 Perché PRIMO è Open-Loop 11
   - 5.3 Come Avviene il Movimento dei Motori Passo-Passo 11
   - 5.4 Come PRIMO Riceve ed Esegue i Comandi di Movimento 11
6. Programmazione Base del Robot PRIMO 12
   - 6.1 Cos'è il G-code 12
   - 6.2 Come si controlla manualmente PRIMO 12
   - 6.3 Come si possono dare comandi da una console o interfaccia web 12
   - 6.4 Esempi di G-code semplici per muovere gli assi 12
7. Programmazione Avanzata del Robot PRIMO 14
   - 7.1 Cos’è RoboDK 14
   - 7.2 Come si importa un modello PRIMO 14

7.3 Come si simula un movimento e si esporta il codice 14
7.4 Come funziona il post-processor personalizzato per PRIMO 14
8. Approfondimenti Tecnici su PRIMO 15
8.1 Introduzione al Controllo Predittivo (MPC) 15
8.2 Cos'è ROS2 e perché sarà usato su PRIMO 15
8.3 Cenni sulla Realtà Aumentata Applicata alla Robotica 15

1. Benvenuto in PRIMO: il tuo primo passo nella robotica

Benvenuto! Questo sito è dedicato a **PRIMO**, un braccio robotico a 6 assi open-source progettato per farti scoprire il mondo della robotica industriale. Qui troverai tutte le risorse necessarie per imparare i concetti fondamentali della robotica e applicarli concretamente attraverso l'interazione con un robot reale.



1.1 Che cos'è PRIMO

PRIMO è un manipolatore articolato progettato per la didattica. È stampabile in 3D, programmabile, completamente open-source, e nasce con l'obiettivo di **rendere accessibile l'apprendimento della robotica** in contesti scolastici e formativi.

È pensato per aiutarti a: - Comprendere come funziona un robot industriale - Imparare i principi di base del controllo del movimento - Mettere in pratica concetti teorici con un sistema fisico reale

1.2 Cosa imparerai attraverso questo sito

1. **Cos'è un robot** e come si classificano i diversi tipi di manipolatori
2. **Concetti chiave** come gradi di libertà, cinematica diretta e inversa
3. **Struttura di un robot articolato** e come ogni parte contribuisce al movimento
4. **Principi di controllo** e programmazione base
5. **Esercizi pratici**, simulazioni e movimenti reali

6. **Approfondimenti** su tematiche moderne della robotica

1.3 Perché è importante studiare la robotica oggi

La robotica è ovunque: dalle fabbriche ai magazzini automatizzati, dai robot chirurgici ai bracci meccanici nei laboratori. Comprendere come funziona un robot ti permette di: - **Sviluppare competenze trasversali** tra meccanica, elettronica e programmazione
- **Affrontare problemi reali** con approccio ingegneristico
- **Prepararti alle professioni del futuro**, dove l'automazione sarà sempre più centrale

Studiare robotica non significa solo imparare a costruire un robot, ma soprattutto a pensare in modo sistemico, logico e creativo.

1.4 Come usare questo sito passo dopo passo

1. **Parti dalla teoria**: esplora i concetti fondamentali della robotica
2. **Scopri PRIMO**: analizza come è costruito e quali sono le sue funzionalità
3. **Prova a programmare**: inizia con esempi guidati
4. **Sperimenta**: esegui esercizi pratici per applicare quanto appreso
5. **Approfondisci**: se sei curioso, troverai spunti per esplorare tematiche più avanzate
6. **Condividi e contribuisci**: PRIMO è un progetto aperto, nato per crescere con la comunità

Ti auguriamo buon apprendimento e buon divertimento con PRIMO!
Comincia dal primo capitolo: *"Cos'è la robotica"*.

2. Cos'è la robotica?

La robotica è una disciplina che unisce **meccanica**, **elettronica** e **informatica** per progettare, costruire e controllare macchine capaci di compiere azioni in modo autonomo o semi-autonomo.
Ma cosa si intende esattamente per **robot**? E come si inserisce nella più ampia categoria dell'automazione?

2.1 Cos'è un robot industriale

Un **robot industriale** è una macchina programmabile, progettata per **eseguire movimenti e compiti ripetitivi con precisione, velocità e affidabilità**.
I robot industriali vengono spesso utilizzati per: - Spostare oggetti (pick & place) - Saldare componenti - Assemblare parti - Verniciare superfici - Lavorare materiali

La definizione ufficiale secondo ISO 8373 è:

> *"Manipolatore multifunzionale, riprogrammabile, controllato automaticamente, con tre o più assi, che può essere fisso o mobile per l'uso in applicazioni di automazione industriale."*

2.2 Automazione ≠ Robotica

Molti pensano che **automazione** e **robotica** siano sinonimi. Non è così!

Automazione	Robotica
Sistema che esegue una sequenza fissa di operazioni	Sistema programmabile e riconfigurabile
Spesso rigido e specifico per un compito	Flessibile e adattabile a diversi compiti
Esempio: una macchina per imbottigliare	Esempio: un braccio robotico che confeziona prodotti diversi

In breve, **l'automazione esegue**, la **robotica decide come eseguire**.

2.3 Dove si usano i robot oggi

I robot non sono solo nelle fabbriche!
Ecco alcuni settori dove i robot sono sempre più presenti:

- **Industria automobilistica**: per saldare, assemblare, verniciare
- **Elettronica**: per il montaggio di circuiti stampati
- **Logistica**: per la movimentazione automatica nei magazzini
- **Sanità**: con robot per chirurgia assistita o riabilitazione
- **Agricoltura**: per la raccolta automatizzata o l'analisi del suolo
- **Servizi**: come camerieri robot, assistenti o pulitori automatici

2.4 Cos'è un manipolatore articolato

Un **manipolatore articolato** è una tipologia di robot composta da più segmenti (bracci) collegati da **giunti rotanti**, simile a un braccio umano.

Ogni giunto fornisce un **grado di libertà** (DOF, dall'inglese *Degree of Freedom*), ovvero la possibilità di ruotare o muoversi in una certa direzione.
Un robot con **6 DOF** può: 1. Spostarsi avanti/indietro (X) 2. Spostarsi a sinistra/destra (Y) 3. Spostarsi in alto/basso (Z) 4. Ruotare intorno all'asse X (roll) 5. Ruotare intorno all'asse Y (pitch) 6. Ruotare intorno all'asse Z (yaw)

Questo lo rende capace di **raggiungere qualsiasi punto nello spazio** con qualunque orientamento, proprio come farebbe un braccio umano per afferrare un oggetto.

Nella prossima sezione scoprirai com'è fatto un robot come PRIMO, e quali sono i suoi assi e componenti principali!

3. Struttura Robotica

3.1 Cosa sono gli assi e i gradi di libertà

Un **robot** si muove nello spazio grazie a una serie di **assi**, cioè snodi o giunti che gli permettono di ruotare o traslare. Ogni asse aggiunge un **grado di libertà (DoF, Degree of Freedom)**, cioè una direzione possibile di movimento.

Un corpo nello spazio può avere fino a **6 gradi di libertà**:

- 3 di **traslazione**: avanti/indietro, sinistra/destra, su/giù.
- 3 di **rotazione**: rollio, beccheggio, imbardata.

Un robot con **6 assi** può quindi raggiungere qualsiasi posizione e orientamento nello spazio tridimensionale, proprio come il braccio di un essere umano.

3.2 Cinematica diretta e cinematica inversa

La **cinematica** studia il movimento dei corpi, senza preoccuparsi delle forze.

- **Cinematica diretta**: si conoscono gli angoli dei giunti → si calcola dove si trova l'estremità del braccio (end-effector).
- **Cinematica inversa**: si conosce la posizione desiderata dell'estremità → si calcolano gli angoli da dare ai giunti.

La cinematica inversa è particolarmente importante: ci permette di dire al robot *"Vai lì"* e il robot calcola come muoversi.

3.3 Che struttura ha PRIMO

PRIMO è un **braccio robotico a 6 assi**, ovvero un **manipolatore articolato** che ricorda il braccio umano. È composto da:

1. **Base** – ruota il braccio orizzontalmente
2. **Spalla** – alza e abbassa il braccio
3. **Gomito** – estende o ritrae il braccio
4. **Polso 1** – piega verso l'alto o il basso
5. **Polso 2** – ruota lateralmente
6. **Polso 3** – ruota sull'asse dell'end-effector

Questa struttura è molto diffusa nell'industria, perché permette di raggiungere molti punti nello spazio con grande flessibilità.

3.4 Cinematica a catena aperta (visiva)

PRIMO ha una **struttura a catena aperta**: ogni giunto è collegato al successivo in sequenza, come i segmenti di un braccio umano.

4. Componenti principali di PRIMO

PRIMO è un braccio robotico articolato progettato per introdurre alla robotica industriale in modo pratico e accessibile. Ogni componente che lo costituisce ha un ruolo funzionale ben preciso, pensato per simulare il comportamento di veri robot industriali.

4.1 Struttura generale

Il robot è composto da sei assi rotazionali, ognuno dei quali permette un movimento controllato. Questi assi sono realizzati attraverso una combinazione di:

- **Motori passo-passo**
- **Giunti meccanici**
- **Supporti e snodi**
- **Elementi strutturali stampati in 3D**

Ogni asse introduce un grado di libertà (DoF), permettendo movimenti indipendenti che, combinati, danno vita a una cinematica articolata.

4.2 Motori passo-passo

I motori utilizzati sono chiamati **NEMA 17**. Sono motori in grado di ruotare di piccoli passi precisi (es. 1.8° per passo), rendendoli ideali per la robotica educativa. Non utilizzano sensori di posizione (open-loop), ma possono essere controllati con alta precisione tramite appositi driver.

4.2.1 Come contribuiscono

Ogni motore è responsabile della rotazione di un segmento del braccio robotico. La combinazione di più rotazioni consente al braccio di orientarsi nello spazio.

4.3 Giunti rotazionali

I giunti permettono il movimento relativo tra due parti del braccio. Sono il cuore della struttura articolata e simulano le articolazioni di un braccio umano (es. spalla, gomito, polso).

4.3.1 Come contribuiscono

Senza i giunti, le rotazioni dei motori non avrebbero alcun effetto: è grazie ai giunti che i segmenti del braccio possono muoversi in modo coordinato.

4.4 Supporti e snodi

Gli snodi sono elementi meccanici che collegano tra loro motori, giunti e bracci. Possono contenere cuscinetti per rendere fluido il movimento e garantire stabilità.

4.5 Controller e driver

Il controllo dei motori avviene tramite una scheda centrale, a cui i motori sono collegati. In PRIMO, i driver sono in **open-loop**, ovvero senza retroazione: il sistema invia comandi ai motori ma non verifica se il movimento è stato realmente eseguito.

4.5.1 Che cosa permette questa configurazione?

- Riduzione dei costi
- Maggiore semplicità didattica
- Possibilità di esplorare limiti e potenzialità del controllo senza feedback

4.6 In sintesi

Ogni componente di PRIMO è stato progettato per simulare i concetti fondamentali della robotica industriale:

Componente	Funzione
Motore passo-passo	Genera il movimento rotazionale
Giunto	Trasmette e permette la rotazione
Supporto/snodo	Collega e guida i movimenti
Controller	Invia comandi ai motori (open-loop)

> Lo scopo non è solo vedere PRIMO muoversi, ma capire **come e perché** ogni parte contribuisce al movimento complessivo del robot.

5. Controllo del Robot PRIMO

5.1 Differenza tra controllo Open-Loop e Closed-Loop

Il **controllo open-loop** è un metodo in cui il sistema esegue comandi senza ricevere alcun feedback sulla posizione o lo stato reale degli attuatori. Il controllo si basa esclusivamente sull'invio di istruzioni, presupponendo che l'azione venga eseguita correttamente. Questo tipo di controllo è semplice e meno costoso, ma può essere soggetto a errori non rilevati come perdite di passi o scostamenti di posizione.

Il **controllo closed-loop** utilizza un sistema di retroazione che misura continuamente la posizione o lo stato effettivo dell'attuatore tramite sensori. Il sistema confronta il valore misurato con il valore desiderato e apporta correzioni per minimizzare gli errori, garantendo una maggiore precisione e affidabilità del movimento.

5.2 Perché PRIMO è Open-Loop

PRIMO utilizza un controllo open-loop perché impiega motori passo-passo senza sensori di retroazione. Questa scelta permette di mantenere il progetto semplice, economico e facilmente accessibile a chi si avvicina alla robotica educativa. La semplicità hardware e software facilita l'apprendimento dei principi base del controllo dei robot senza la complessità aggiuntiva del feedback.

Inoltre, per applicazioni didattiche con carichi leggeri e velocità moderate, il controllo open-loop è sufficiente per ottenere movimenti precisi e affidabili.

5.3 Come Avviene il Movimento dei Motori Passo-Passo

I motori passo-passo sono motori elettrici che si muovono a scatti discreti chiamati "passi". Ogni impulso elettrico ricevuto fa ruotare l'albero del motore di un angolo fisso. La posizione è quindi controllata contando il numero di impulsi inviati al motore.

Il movimento complessivo del motore è ottenuto sommando questi passi, permettendo un controllo accurato della posizione senza necessità di sensori esterni.

5.4 Come PRIMO Riceve ed Esegue i Comandi di Movimento

Il sistema di controllo interpreta le istruzioni di movimento e le traduce in impulsi elettrici inviati ai motori passo-passo. Questi impulsi indicano quanti passi ciascun motore deve compiere e con quale velocità.

L'esecuzione avviene in open-loop: si presume che il motore compia esattamente il numero di passi comandati senza una verifica attiva della posizione raggiunta. Questo metodo è efficace in condizioni controllate e permette una programmazione semplice e diretta del movimento del robot.

Questo documento fa parte della documentazione tecnica del braccio robotico educativo PRIMO.

6. Programmazione Base del Robot PRIMO

6.1 Cos'è il G-code

Il **G-code** è un linguaggio di programmazione standard utilizzato per controllare macchine CNC, stampanti 3D e robot industriali. Consiste in una serie di comandi testuali che indicano movimenti, velocità, posizioni e altre azioni da eseguire. Ogni comando in G-code specifica istruzioni precise come spostare un asse, cambiare velocità o attivare/disattivare un utensile.

Utilizzando il G-code è possibile definire traiettorie e sequenze di movimento per il robot in modo semplice e flessibile.

6.2 Come si controlla manualmente PRIMO

Il controllo manuale di PRIMO permette di spostare singolarmente gli assi del robot per operazioni di prova, calibrazione o posizionamento preciso. Questo controllo diretto viene effettuato inviando comandi che indicano lo spostamento di un singolo asse di una certa quantità o angolo.

Attraverso un'interfaccia di controllo, è possibile scegliere quale asse muovere e definire il numero di passi o la distanza da percorrere, controllando così manualmente la posizione del robot.

6.3 Come si possono dare comandi da una console o interfaccia web

Il robot PRIMO può ricevere comandi da una console di controllo o da un'interfaccia web dedicata. Questi strumenti consentono di inviare comandi testuali (come quelli in G-code) direttamente al sistema di controllo, visualizzare lo stato del robot e monitorare l'esecuzione dei movimenti.

La console e l'interfaccia web permettono anche di eseguire macro, caricare file di programma e inviare istruzioni di movimento in tempo reale, facilitando così l'interazione con il robot.

6.4 Esempi di G-code semplici per muovere gli assi

Ecco alcuni esempi base di comandi per muovere gli assi del robot:

- **Spostamento rotativo su un asse (esempio: asse B):**

G1 B10 F1000

Questo comando sposta l'asse B a 10 gradi con una velocità di 1000 gradi/minuto.

- **Spostamento contemporaneo di più assi (esempio: X e Y):**

G1 X20 Y15 F800

Sposta gli assi X e Y rispettivamente a 20 e 15 gradi con velocità 800.

- **Ritorno alla posizione zero (home):**

G28

Comando per riportare tutti gli assi alla posizione di origine.

- **Spostamento relativo (rispetto alla posizione corrente):**

G91 G1 X5 Y-3 F500 G90

Qui il robot si sposta di +5 sull'asse X e -3 sull'asse Y rispetto alla posizione attuale. `G91` abilita il modo di spostamento relativo, mentre `G90` lo disabilita tornando al modo assoluto.

Questa guida fa parte della documentazione tecnica del braccio robotico educativo PRIMO.

7. Programmazione Avanzata del Robot PRIMO

7.1 Cos'è RoboDK

RoboDK è un software di simulazione e programmazione offline per robot industriali. Permette di creare, simulare e ottimizzare percorsi di movimento in un ambiente virtuale prima di eseguirli sul robot reale. RoboDK supporta un'ampia varietà di robot e consente di generare codici di controllo personalizzati tramite post-processor, facilitando l'integrazione con sistemi hardware diversi.

7.2 Come si importa un modello PRIMO

Per lavorare con PRIMO in RoboDK, è necessario importare il modello 3D del braccio robotico. Questo modello include la struttura meccanica e i riferimenti cinematici degli assi.

L'importazione avviene tipicamente attraverso un file CAD o un file di definizione robot compatibile con RoboDK (ad esempio file `.stp`, `.igs` o un modello RoboDK `.rdk`). Il modello viene caricato nell'ambiente di simulazione, permettendo di visualizzare e manipolare il robot in 3D.

7.3 Come si simula un movimento e si esporta il codice

Una volta importato il modello PRIMO, si possono definire traiettorie e movimenti per il robot all'interno di RoboDK. Attraverso l'interfaccia grafica o utilizzando script, è possibile:

- Creare percorsi con punti intermedi
- Definire velocità e accelerazioni
- Simulare l'esecuzione della traiettoria per verificarne la correttezza e assenza di collisioni

Terminata la simulazione, RoboDK consente di esportare il codice di controllo specifico per PRIMO, adattato al suo firmware e hardware tramite un post-processor personalizzato. Questo codice è pronto per essere caricato e eseguito sul robot reale.

7.4 Come funziona il post-processor personalizzato per PRIMO

Il **post-processor** è un componente software che traduce i movimenti e le istruzioni generati in RoboDK in un linguaggio di controllo comprensibile dal robot PRIMO.

Nel caso di PRIMO, il post-processor personalizzato converte le traiettorie in comandi compatibili con il controllo open-loop basato su motori passo-passo e invia istruzioni in forma di comandi passo-passo o G-code adattati al firmware usato.

Questo permette di garantire che il codice esportato sia ottimizzato per il funzionamento di PRIMO, rispettando i limiti meccanici, i parametri dei motori e la modalità di controllo open-loop.

Questo documento fa parte della documentazione tecnica avanzata del braccio robotico educativo PRIMO.

8. Approfondimenti Tecnici su PRIMO

8.1 Introduzione al Controllo Predittivo (MPC)

Il **controllo predittivo basato su modello** (Model Predictive Control, MPC) è una tecnica avanzata di controllo che utilizza un modello matematico del sistema per prevedere il comportamento futuro e ottimizzare le azioni di controllo in tempo reale. A differenza dei controlli tradizionali, MPC calcola una sequenza ottimale di comandi considerando vincoli fisici e obiettivi prestazionali, aggiornando continuamente la strategia ad ogni passo temporale.

Questa metodologia è particolarmente utile in robotica per gestire sistemi complessi con più variabili, limiti operativi e necessità di precisione elevata.

8.2 Cos'è ROS2 e perché sarà usato su PRIMO

ROS2 (Robot Operating System 2) è un framework open-source per lo sviluppo di software robotico modulare, scalabile e distribuito. Offre strumenti e librerie per la comunicazione tra componenti, gestione dei dati, simulazione, e integrazione di sensori e attuatori.

Su PRIMO, ROS2 sarà adottato per:

- Facilitare l'integrazione di sensori e attuatori avanzati
- Abilitare il controllo in retroazione (closed-loop) con feedback in tempo reale
- Supportare lo sviluppo di funzionalità complesse come pianificazione, percezione e interfacce utente
- Consentire una maggiore modularità e interoperabilità con altri sistemi robotici

8.3 Cenni sulla Realtà Aumentata Applicata alla Robotica

La **realtà aumentata** (AR) consiste nell'integrare elementi digitali (grafica, dati, interfacce) direttamente nel campo visivo reale dell'utente. In robotica, l'AR può essere utilizzata per:

- Visualizzare in tempo reale lo stato del robot e i suoi parametri
- Guidare l'operatore durante la calibrazione o la manutenzione
- Offrire interfacce intuitive per la programmazione e il controllo
- Sovrapporre traiettorie, aree di lavoro e modelli virtuali per migliorare la comprensione spaziale

L'applicazione di AR su PRIMO punta a rendere più immediata e coinvolgente l'esperienza educativa e operativa.

Questo documento fa parte della documentazione tecnica di PRIMO e contiene approfondimenti sulle tecnologie future e avanzate.