

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica Elettronica e delle Telecomunicazioni

## SVILUPPO DI UN SOFTWARE PER IL COORDINAMENTO DI UN ROBOT MANIPOLATORE PER LA PRESA DI FRUTTI

Relatore:

Prof. **Dario Lodi Rizzini**

Correlatore:

Ing. **Alessio Saccuti**

Tesi di laurea di:

**Giuliano Pioldi**

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

---

Nel panorama dell'agricoltura moderna, l'introduzione di tecnologie rappresenta un passo essenziale per migliorare la produttività, andando a rispondere alla crescente domanda di cibo, soprattutto in settori che soffrono di carenza di manodopera qualificata per compiti ripetitivi e faticosi. La robotica agricola, in particolare con la nascita dell'Agricoltura 4.0, si pone come una risposta concreta a tali sfide. Questo lavoro di Tesi si focalizza sullo sviluppo di un sistema robotico integrato, progettato per automatizzare la raccolta dei pomodori, sfruttando tecnologie di percezione, pianificazione del movimento e controllo della presa.

Il sistema implementato si compone di un braccio robotico collaborativo UR10e, dotato di un gripper morbido OnRobot SG-a-H, per afferrare i pomodori senza danneggiarli. La percezione dell'ambiente è garantita da una combinazione di sensori commerciali, tra cui la telecamera Intel RealSense D405 per la visione RGB-D e il sensore LIDAR Velodyne VLP-16 per la mappatura tridimensionale dello spazio circostante. Questi sensori, integrati tramite il framework ROS2, permettono al robot di navigare in un ambiente complesso come un campo agricolo, evitando ostacoli e identificando i frutti maturi da raccogliere. L'algoritmo di rilevamento principale utilizzato per i frutti è il Faster R-CNN, addestrato su un dataset di immagini reali di colture di pomodoro, che consente al robot di individuare la posizione di questi ultimi anche in condizioni di illuminazione variabili e in presenza di ostruzioni.

Un aspetto cruciale di questo sistema è rappresentato dall'implementazione del monitoraggio della coppia sul braccio robotico UR10e, infatti, grazie ai sensori di coppia integrati nei giunti del manipolatore, il software di coordinamento rende il robot in grado di percepire e reagire alle forze esterne durante il processo di raccolta. Questo si rivela particolarmente importante nella fase di distacco del frutto dalla pianta, dove il monitoraggio della coppia

permette di rilevare con precisione se il frutto è stato correttamente staccato. Tale approccio è fondamentale per garantire una manipolazione delicata, evitando di applicare eccessive forze che potrebbero danneggiare il frutto.

Gli esperimenti condotti per validare il sistema si sono concentrati su due scenari principali: un task senza resistenza, che simula lo scenario in cui il frutto viene staccato senza incontrare particolari ostacoli, e un task con resistenza, dove il robot deve affrontare una maggiore difficoltà nel distacco teorico del frutto, simulando una situazione reale in cui il peduncolo del frutto è particolarmente resistente o attaccato saldamente alla pianta. Questi esperimenti hanno permesso di confrontare il comportamento del sistema in situazioni operative differenti, mettendo in evidenza l'adattabilità e la robustezza del robot nel gestire le diverse condizioni di raccolta.

Partendo dall'analisi della Figura 1, si nota che nel task senza resistenza, il sistema ha mostrato una fluidità operativa costante, con il monitoraggio della coppia che rilevava valori relativamente bassi e stabili durante l'intero processo di raccolta. Il robot è infatti stato in grado di afferrare il frutto senza incontrare ostacoli, e la presa è stata eseguita con successo grazie al gripper morbido, che ha applicato una forza adeguata per evitare danni.

Nel task con resistenza, invece, il sistema ha dovuto affrontare una sfida maggiore. Come si può notare dalla Figura 2, in questo caso, il monitoraggio della coppia ha rilevato un aumento significativo delle forze esercitate durante il distacco del frutto. Il robot, in risposta a questa resistenza, ha attivato un meccanismo di svincolo, andando ad eseguire una rotazione attorno all'asse  $z$  di tool. Il monitoraggio continuo ha consentito al sistema di interrompere la forza applicata una volta che il frutto è stato correttamente staccato.

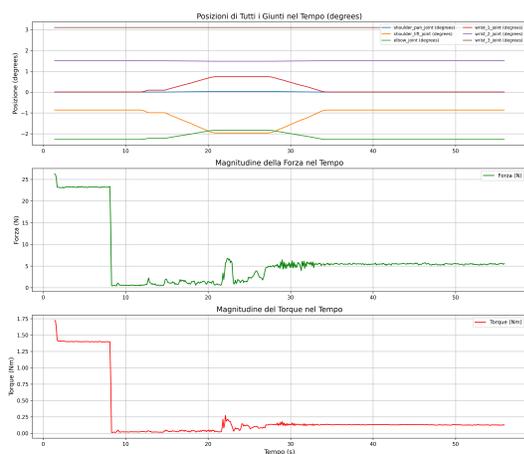


Figura 1: Grafico della posizione di tutti i giunti con il monitoraggio di coppia - task senza resistenza.

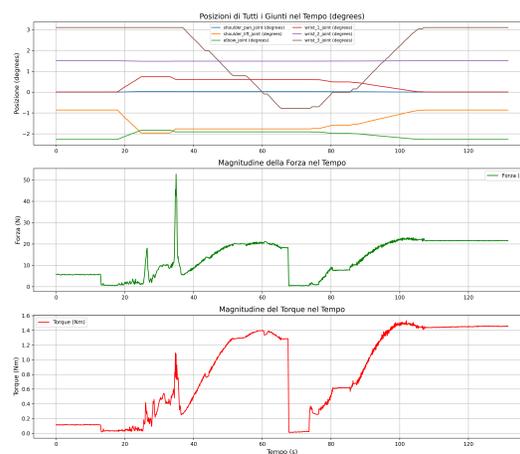


Figura 2: Grafico della posizione di tutti i giunti con il monitoraggio di coppia - task con resistenza.

L'approccio basato sul monitoraggio della coppia si è quindi dimostrato efficace nella gestione delle criticità legate alla raccolta automatizzata dei frutti, in particolare nelle situazioni in cui il frutto non si stacca correttamente dalla pianta. I risultati sperimentali evidenziano la capacità del sistema di adattare la strategia di movimento in risposta alle variazioni delle forze e delle coppie rilevate, garantendo un'operazione più sicura ed efficiente.