Politecnico di Torino

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

A.a. 2021/2022

Sessione di Laurea ottobre 2022

Tesi di Laurea Magistrale

Progettazione, prototipazione e validazione sperimentale di utensile da taglio azionato da braccio robotico per agricoltura di precisione

Relatori:

Prof. Quaglia Giuseppe

Cavallone Paride

Tagliavini Luigi

Candidato:

Vorfi Ardit

ABSTRACT

La seguente tesi di laurea si pone l'obbiettivo di realizzare un prototipo di utensile di presa-taglio, per la raccolta automatizzata di campioni di colture, attraverso il braccio robotico del rover Agri.q, un veicolo prototipale sviluppato dal Politecnico di Torino per l'agricoltura di precisione nel campo della viticoltura.

Il punto di partenza di questo lavoro è stato un progetto pilota del Politecnico di Torino che ha portato alla concezione di una prima versione del meccanismo. In questo documento di tesi, dopo una breve introduzione sull'agricoltura di precisione, rover agricoli e bracci robotici, verranno illustrate le fasi di ri-progettazione del meccanismo di presa e taglio. Inizialmente, sono state analizzate le criticità della proposta precedente, per individuare i punti chiave su cui intervenire per ottimizzare il meccanismo. Oltre a ingombro, peso, complessità di assemblaggio, la principale criticità rilevata è che, essendo il meccanismo a cinematica imposta, l'adattamento alle diverse tipologie di ramo veniva garantito solo dal materiale soft presente all'estremità del membro di presa.

La progettazione si è focalizzata sullo sviluppo di una proposta funzionale differente, che potesse risolvere i problemi del meccanismo precedente. Successivamente, dopo la realizzazione del progetto esecutivo, tale proposta progettuale è stata validata attraverso un primo prototipo azionato manualmente.

Infine, dopo aver validato il suo corretto funzionamento, si è passati ad una vestizione costruttiva che permettesse di azionare l'utensile attraverso il gripper sotto-attuato del manipolatore articolato.

Indice

ABSTRACT ..... **ii**

Indice delle Figure ..... **iii**

Indice delle Tabelle ..... **vi**

1 Introduzione **7**

1.1 Agri.q 11

2 Progettazione meccanismo di presa-taglio **15**

2.1 Prima versione del meccanismo 16

2.2 Specifiche progettuali 19

2.3 Progettazione funzionale 20

2.4 Analisi Parametrica 26

2.4.1 Effetto punto di applicazione forza sul porta-lama: parametro b1 31

2.4.2 Effetto del braccio del porta-lama: parametro a1 32

2.4.3 Effetto distanza molla 1 rispetto alla cerniera B: parametro m1 33

2.4.4 Effetto del braccio dell'elemento di presa: parametro a2 34

2.4.5 Effetto eccentricità cerniera mobile B rispetto alla cerniera fissa E_0: parametro e 35

2.5 Dimensionamento meccanismo 37

2.5.1 Configurazione con molla a trazione 37

2.5.2 Configurazione con molla a compressione 38

2.6 Progettazione esecutiva 40

2.6.1 Telaio 41

2.6.2 Porta-lama 42

2.6.3 Elemento di presa 44

3 Prototipazione e sperimentazione **45**

3.1 Prototipazione 45

3.1.1 Componenti ottenuti tramite fabbricazione additiva 45

3.1.2 Componenti commerciali 46

3.1.3 Assemblaggio prototipo ad uso manuale 48

3.2 Sperimentazione utensile ad uso manuale 52
3.3 Integrazione dell'utensile sul gripper del braccio robotico 54
3.3.1 Gripper Kinova 54
3.3.2 Schema funzionale gripper con utensile 55
3.3.3 Membro di interfaccia 57
3.3.4 Modifiche effettuate su porta-lama e telaio 59
3.3.5 Assieme dell'utensile sul gripper Kinova 59
3.4 Sperimentazione utensile integrato sul gripper del braccio robotico 63
4 Conclusioni 66
5 Bibliografia e Sitografia 68

Indice delle Figure

Figura 1.1 SDGs: Sustainable Developement Goals [2] 7

Figura 1.2 (a) Dispenser di feromone (b) dispenser posizionato sul ramo della vite [5] 8

Figura 1.3 Rappresentazione del rover GRAPE nel suo scenario applicativo [6] 9

Figura 1.4 Peperoni rilevati dal sistema di imaging di Sweeper [7] 9

Figura 1.5 Sweeper nel suo ambiente lavoro [7] 10

Figura 1.6 Prototipo robot per raccolta di melanzane: (a) vista laterale; (b) vista frontale [8] 10

Figura 1.7 Sistema di visione robot per raccolta di melanzane 11

Figura 1.8 Rappresentazione del rover Agri.q nel suo scenario applicativo 11

Figura 1.9 Volume di lavoro del braccio robotico Kinova Jaco 2 12

Figura 1.10 Foto del veicolo Agri.q02 in differenti condizioni: (a) Braccio robotico a lavoro a lato del rover; (b) Braccio robotico che raccoglie campioni a terra; (c) Braccio robotico esteso con piattaforma azionata nella configurazione di massima altezza raggiungibile; (d) Interazione tra il braccio robotico e il drone atterrato sulla piattaforma [12]. 14

Figura 2.1 Raffigurazioni delle funzioni richieste all'utensile: (a) Capacità di essere afferrato dal braccio robotico; (b) Afferraggio del campione; (c) Separazione del campione; (d) Deposito del campione raccolto. 16

Figura 2.2 Complessivo dell'utensile precedente (misure in millimetri) 17

Figura 2.3 Illustrazione funzionamento del meccanismo precedente: foto in alto rappresentano la vista dell'intero meccanismo, in basso il dettaglio dell'elemento di presa e taglio in corrispondenza della stessa inclinazione dell'elemento di trasmissione 18

Figura 2.4 Schemi funzionali: (a) configurazione con molla a trazione; (b) configurazione con molla a compressione 22

Figura 2.5 Schema funzionale meccanismo nella configurazione con molla a trazione 23

Figura 2.6 Schemi con meccanismo in funzione: (a) meccanismo in configurazione iniziale; (b) Fase di presa ramo; (c) Fase di mantenimento e taglio ramo; (d) fase di deposito (o rilascio) ramo 25

Figura 2.7 Schema funzionale con parametri e variabili 26

Figura 2.8 Diagramma di corpo libero del porta-lama 27

Figura 2.9 Dettaglio del punto M_2 di ancoraggio della molla 29
Figura 2.10 Influenza di b1 sulla Coppia di taglio 31
Figura 2.11 Influenza di b1 sulla Coppia di presa 31
Figura 2.12 Influenza di b1 sul Guadagno di forza 32
Figura 2.13 Influenza di a_1 sulla Coppia di Taglio 32
Figura 2.14 Influenza di a1 sulla Coppia di Presa 32
Figura 2.15 Influenza di a_1 sul Guadagno di forza 33
Figura 2.16 Influenza di m_1 sulla Coppia di Taglio 33
Figura 2.17 Influenza di m_1 sulla Coppia di Presa 33
Figura 2.18 Influenza di m1 sul Guadagno di forza 34
Figura 2.19 Influenza di a_2 sulla Coppia di Taglio 35
Figura 2.20 Influenza di a2 sulla Coppia di Presa 35
Figura 2.21 Influenza di a_2 sul Guadagno di forza 35
Figura 2.22 Influenza di e sulla Coppia di taglio 36
Figura 2.23 Influenza di e sulla Coppia di presa 36
Figura 2.24 Influenza di e sul Guadagno di forza 37
Figura 2.25 Proporzioni meccanismo in configurazione a trazione 38
Figura 2.26 Proporzioni meccanismo in configurazione a trazione 39
Figura 2.27 Complessivo utensile nella configurazione con molla a trazione da due viste diverse (a) e (b) 41
Figura 2.28 Complessivo utensile nella configurazione con molla a compressione da due viste diverse (a) e (b) 41
Figura 2.29 Disegno CAD del Telaio 42
Figura 2.30 Disegno CAD del Porta-lama 43
Figura 2.31 Dettaglio cilindro con sede per alloggiamento molla 2 a compressione 43
Figura 2.32 Da sinistra a destra, disegni CAD di: a) dell'Elemento di presa per molla a trazione b) Elemento di presa per molla a compressione 44
Figura 3.1 Componenti ottenuti tramite fabbricazione additiva: a) Porta-lama; b) Telaio; c) Elemento di presa a trazione; d) Elemento di presa a compressione 45
Figura 3.2 Molla 1: per fare ritornare l'utensile in posizione iniziale 46
Figura 3.3 Molla 2 a trazione 47

Figura 3.4 Molla 2 a compressione 47
Figura 3.5 (a) Lama Lowe 5; (b) Battente della lama 47
Figura 3.6 Assemblaggio sottoassieme telaio 48
Figura 3.7 Assemblaggio sottoassieme porta-lama 49
Figura 3.8 Assemblaggio sottoassiemi elementi di presa 49
Figura 3.9 Sottoassiemi reali: a) Porta-lama; b) Telaio; c) Elemento di presa a trazione; d) Elemento di presa a compressione 50
Figura 3.10 Prototipo reale ad uso manuale nella configurazione con molla 2 a trazione . 51
Figura 3.11 Prototipo reale ad uso manuale nella configurazione con molla 2 a compressione 51
Figura 3.12 Prototipo ad uso manuale in configurazione con molla 2 a trazione: (a) Disegno complessivo CAD; (b) Foto prototipo reale. 52
Figura 3.13 Sequenza immagini del prototipo ad uso manuale in azione 54
Figura 3.14 Gripper con sistema di riferimento e nomenclatura cerniere 55
Figura 3.15 Schema funzionale gripper con utensile 56
Figura 3.16 Membro di interfaccia 57
Figura 3.17 Membro di interfaccia posizionato sul gripper 58
Figura 3.18 Porta-lama (a) e Telaio (b) modificati per l'adattamento al gripper 59
Figura 3.19 Assieme utensile e membri d'interfaccia 60
Figura 3.20 Assieme dell'utensile sul gripper Kinova completamente aperto 61
Figura 3.21 Assieme dell'utensile sul gripper Kinova completamente chiuso 61
Figura 3.22 Altra vista dell'assieme utensile sul gripper Kinova completamente aperto... 62
Figura 3.23 Altra vista dell'assieme utensile sul gripper Kinova completamente chiuso .. 62
Figura 3.24 Utensile montato sul gripper del robot 63
Figura 3.25 Sequenza di foto che illustrano il funzionamento dell'utensile sul gripper 65

Indice delle Tabelle

Tabella 1 Descrizione nomenclatura schema funzionale 23
Tabella 2 Parametri Porta-lama (o elemento di taglio) 26
Tabella 3 Parametri elemento di presa 27
Tabella 4 Variabili meccanismo 27
Tabella 5 Valori iniziali delle variabili 30
Tabella 6 Valori rigidezza delle molle 30
Tabella 7 Valori dei parametri meccanismo ad uso manuale 38
Tabella 8 Valore parametri meccanismo con molla a compressione 39

1 Introduzione

La crescita demografica insieme ad altri fattori, come il cambiamento climatico, la deforestazione, l'urbanizzazione, sta mettendo a dura prova il settore primario. Le proiezioni dell'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) stimano una crescita della popolazione mondiale pari a 9,73 miliardi nel 2050, 2 miliardi in più rispetto alla popolazione attuale. Secondo il FAO (*Food and Agricolture Organization*) la richiesta di generi alimentari subirà quindi un incremento di circa il 70% entro il 2050. Pertanto, sarà necessario ottimizzare e incrementare le produzioni di generi alimentari per soddisfare la domanda di alimenti per una nutrizione ottimale [1].

Se si tiene conto che già ad oggi la povertà e la fame sono certamente due dei più gravi problemi che affliggono l'umanità a livello mondiale, tanto da far parte dei 17 Obbiettivi inseriti nella Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, sottoscritta nel 2015 dai governi dei Paesi membri dell'ONU [2], il problema si fa ancor più serio. Secondo le stime dell'ONU, circa 2 miliardi di persone soffrono di insicurezza alimentare, più di 800 milioni di persone vivono ancora in povertà estrema a causa della distribuzione disomogenea delle risorse alimentari, con il 33% del cibo prodotto che viene perso o sprecato [3].

Figura 1.1 SDGs: Sustainable Developement Goals [2]

In quest'ottica, l'agricoltura ricopre un ruolo fondamentale per il progredire della società verso un sentiero di sviluppo sempre più sostenibile [4]. Negli ultimi anni, per far fronte a

questa sfida mondiale, il settore agricolo è entrato nell'era digitale; infatti, si sente sempre più parlare di *Agricoltura di precisione*, ovvero l'insieme di tecnologie che permettono di monitorare ed ottimizzare i processi di produzione agricola.

La combinazione delle nuove tecnologie come robot, sensoristica, Intelligenza Artificiale, big data e Internet of things (IoT) sono un fattore chiave per aumentare l'efficienza e massimizzare la produzione, riducendo costi e sprechi e minimizzando gli impatti ambientali.

Il mercato dell'agricoltura di precisione è in continua crescita, grazie all'utilizzo di robot che possono compiere diverse mansioni, come: potatura, semina, raccolta di precisione di frutta e verdura, supervisione aerea e monitoraggio di colture tramite l'utilizzo di droni.

Prima di introdurre il rover Agri.Q, verranno presentati alcuni esempi interessanti di prototipi utilizzati per l'agricoltura di precisione.

GRAPE: *Ground Robot for vineyArd Monitoring and ProtEction* [5], è un progetto sviluppato dal *Technology Center di Barcellona (EURECAT)*, l'azienda *VITIROVER* e il *Politecnico di Milano*. Questo prototipo ha come scopo quello di andare a migliorare le operazioni di monitoraggio e ispezione nei vigneti, andando a individuare facilmente la presenza di malattie causate da funghi, virus e insetti, che colpiscono spesso le piante da vite. In particolare, il suo compito è quello di andare a posizionare sui rami della vite un dispenser di feromone, che grazie al suo rilascio inibisce l'attacco della filossera, un insetto molto dannoso per le radici della pianta, tanto da portare alla sua morte. Grazie all'utilizzo di questo composto naturale si diminuisce l'impatto ambientale dovuto ai tradizionali composti chimici, come i pesticidi.

Figura 1.2 (a) Dispenser di feromone (b) dispenser posizionato sul ramo della vite [5]

Figura 1.3 Rappresentazione del rover GRAPE nel suo scenario applicativo [6]

SWEEPER: un robot realizzato dal lavoro congiunto della *Umea University*, della *Ben-Gurion University*, della *Research Station for Vegetable Cultivation*, della *Wageningen University & Research*, della *Bogaerts Greenhouse Logistic* e di *De Tuindershoek BV* [7]. Questo dispositivo robotizzato ha il compito di andare ad automatizzare i processi di raccolta, in particolare dei peperoni. Tramite un sistema di imaging (Figura 1.4), è in grado di analizzare lo stato di maturazione e attivare quindi il manipolatore articolato per effettuare la separazione dell'ortaggio dalla pianta, facendo attenzione a non danneggiarlo.

Figura 1.4 Peperoni rilevati dal sistema di imaging di Sweeper [7]

Figura 1.5 Sweeper nel suo ambiente lavoro [7]

Robot per raccolta di melanzane: un progetto dal design antropomorfo con una piattaforma a due braccia, per automatizzare la raccolta di melanzane [8]. Grazie al sistema di visione a quattro telecamere e all'algoritmo di segmentazione dell'immagine è in grado di rilevare e localizzare le melanzane. Una volta individuato l'ortaggio, l'algoritmo di pianificazione determina i movimenti necessari da far compiere alle braccia per la separazione della melanzana dalla pianta. Vista la presenza di due braccia, a seconda delle loro configurazioni, della posizione delle melanzane e della condizione dell'ambiente di lavoro, è possibile effettuare la raccolta simultanea di due melanzane, di una singola mediante l'uso di un solo braccio, oppure la collaborazione di entrambi per risolvere problemi di occlusione.

Figura 1.6 Prototipo robot per raccolta di melanzane: (a) vista laterale;
(b) vista frontale [8]

Figura 1.7 Sistema di visione robot per raccolta di melanzane

1.1 Agri.q

Agri.q è un veicolo terrestre senza equipaggio (*Unmanned Ground Vehicle*, UGV), che rientra nelle applicazioni della robotica impiegata per agricoltura di precisione [9]. È stato sviluppato presso il PIC4SeR (*Politecnico Interdipartmental Centre for Service Robotics*): un centro interdipartimentale del Politecnico di Torino, che ha l'obbiettivo di sviluppare soluzioni di robotica di servizio utilizzando diversi campi di conoscenza. Questo rover, illustrato in Figura 1.8, è stato sviluppato per compiere, insieme ad un drone (UAV: *Unmanned Aerial Vehicle)*, operazioni di monitoraggio e mappatura delle viticolture e, tramite un braccio robotico commerciale (Kinova modello Jaco 2), compiere operazioni di raccolta campioni sfruttando specifiche pinze presenti sul veicolo oppure applicare fertilizzante.

Figura 1.8 Rappresentazione del rover Agri.q nel suo scenario applicativo

Il rover è dotato di sensori di visione e di una piattaforma orientabile per l'atterraggio di droni, utilizzata anche per ospitare pannelli solari che forniscano ulteriore energia al veicolo. La possibilità di orientazione della piattaforma rispetto al sistema di movimentazione è fondamentale per garantire una superficie piana di atterraggio dei velivoli aerei in qualunque condizione del terreno, in particolare nei vigneti in cui ci sono irregolarità del suolo e diverse pendenze. Qualora i droni non fossero presenti, la possibilità di orientazione della piattaforma permetterebbe di inclinare i pannelli solari in modo tale da ottimizzare la ricezione di energia.

Il sistema di movimentazione è composto da due unità motrici poste sull'asse anteriori, ognuna delle quali è composta da una coppia di ruote, montate su un apposito bilanciere che garantisce il contatto tra ruote e terreno anche in presenza di irregolarità del suolo. Per aumentare la superficie di contatto tra rover e terreno, sull'asse posteriore invece troviamo altre quattro ruote motrici, i motori di queste però vengono attuati esclusivamente per salire terreni con pendenza particolarmente ripida. Il veicolo è poi completato da un braccio robotico, il Jaco2 di Kinova, che ha lo scopo di interagire con il vigneto e con i droni.

Il braccio robotico Jaco2 [10] è un manipolatore ridondante a 7 gradi di libertà, collegato ad un telaio mobile con uno spazio di lavoro quasi sferico, come mostrato in Figura 1.9. La ridondanza cinematica permette di muovere il braccio mantenendo inalterata la posizione del polso, di avere una maggior flessibilità nei movimenti e di muoversi agilmente tra i rami della vigna.

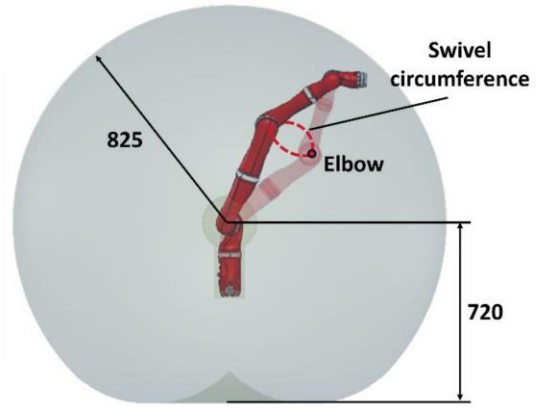


Figura 1.9 Volume di lavoro del braccio robotico Kinova Jaco 2

Sul polso va poi montato l'*end-effector*, un organo terminale che ha il compito di interagire con l'oggetto. Questi end-effector possono essere di diverse tipologie a seconda dell'utilizzo che si vuole fare del robot, ma nel caso in esame gli organi terminali di maggiore interesse sono dispositivi che permettano di afferrare oggetti e campioni, i cosiddetti *gripper* o pinze robotiche.

Tabella 1.1: Specifiche Kinova Jeco 2 a 7 gradi di libertà [11]	
Estensione massima	985 mm
Capacità di carico	Senza gripper: 2.1 kg
	Con gripper a 2 dita KG-2: 1.3 kg
Materiali	Corpi: Fibra di carbonio
	Attuatori: Alluminio
Peso	Senza gripper: 5.5 kg
	Con gripper a 2 dita KG-2: 5.98 kg
Potenza richiesta	Picco: 100 W
	Modalità operativa: 25W

In Figura 1.10 si può osservare il prototipo Agri.q con montato il braccio robotico e la pinza Kinova con due dita: avendo posizionato il robot nella parte anteriore del rover. Dalle immagini è possibile notare che il braccio può raggiungere la parte laterale del rover (a), il terreno (b), l'altezza di circa 2 m azionando il movimento della piattaforma (c) e un drone atterratogli vicino (d).

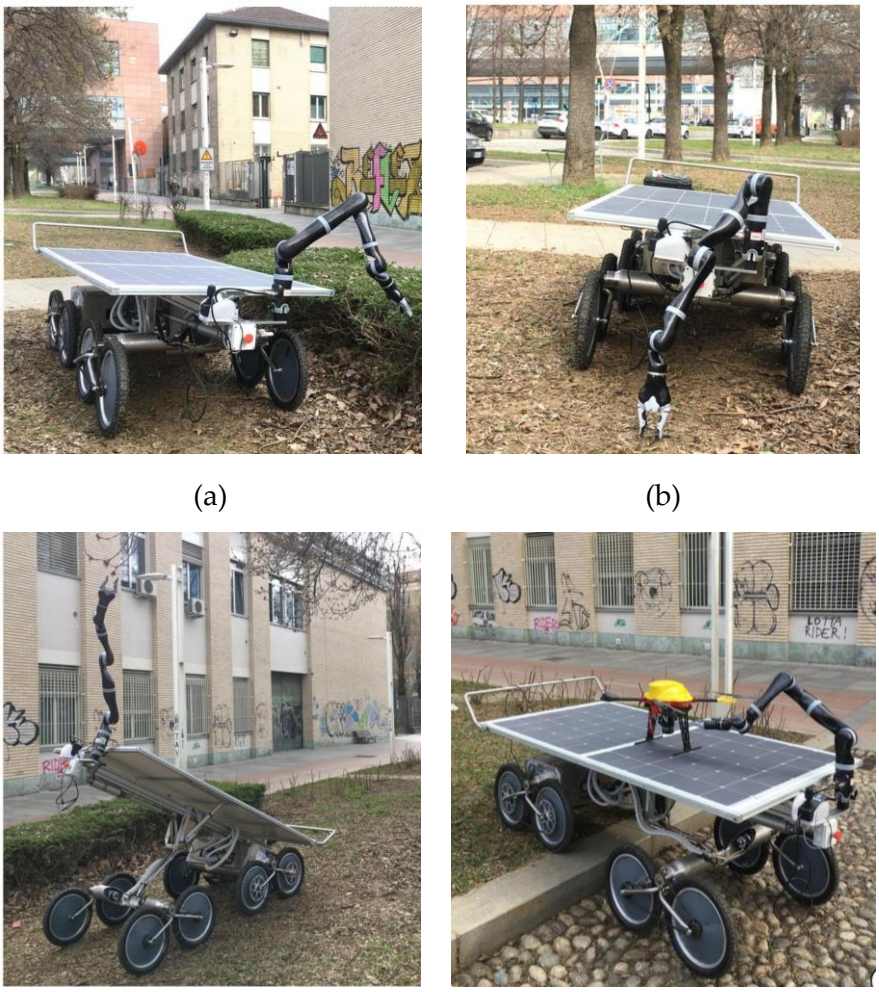


Figura 1.10 Foto del veicolo Agri.q02 in differenti condizioni: (a) Braccio robotico a lavoro a lato del rover; (b) Braccio robotico che raccoglie campioni a terra; (c) Braccio robotico esteso con piattaforma azionata nella configurazione di massima altezza raggiungibile; (d) Interazione tra il braccio robotico e il drone atterrato sulla piattaforma [12].

2 Progettazione meccanismo di presa-taglio

L'obbiettivo del seguente lavoro è andare a progettare un utensile che, adattato al gripper del braccio robotico del rover Agri.q, possa andare a compiere le funzioni che comunemente sono svolte dall'uomo durante le fasi di potatura, ovvero la presa, il taglio e il deposito del campione prelevato. L'idea di base è quella di andare a sfruttare la coppia dalla pinza Kinova in sostituzione della forza esercitata dall'uomo, per poter azionare l'utensile direttamente dal braccio robotico ed automatizzare tutte le operazioni. Quindi, oltre alle precedenti funzioni, l'utensile deve poter essere afferrato facilmente dal gripper, senza l'intervento dell'uomo per il suo fissaggio. Questa caratteristica di afferraggio ha il compito di permettere al meccanismo di poter essere prelevato dal magazzino utensili, assicurato alla pinza nel modo più agevole possibile ed allo stesso modo riposto nel magazzino utensili, da parte della pinza, quando non è più necessario il suo uso.

Possiamo quindi riassumere le quattro operazioni principali che l'utensile deve essere in grado di svolgere:

1. **Possibilità di essere afferrato dal gripper:** il meccanismo deve poter essere preso/depositato facilmente dal/nel magazzino utensili;

2. **Presa:** il meccanismo, inizialmente, deve essere in grado di bloccare il campione vegetativo e trattenere la presa anche dopo il taglio;

3. **Taglio**: dopo la presa, deve eseguire il taglio del campione;

4. **Deposito:** una volta tagliato, il campione prelevato deve essere mantenuto per essere poi depositato nell'apposito contenitore;

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 2.1 Raffigurazioni delle funzioni richieste all'utensile: (a) Capacità di essere afferrato dal braccio robotico; (b) Afferraggio del campione; (c) Separazione del campione; (d) Deposito del campione raccolto.

La progettazione, appunto, si ispira alle operazioni svolte dall'uomo: l'elemento di presa vuole simulare le dita umane che afferrano il campione di coltura, mentre l'elemento di taglio simula le cesoie che separa il campione dalla pianta. L'elemento di presa, oltre ad afferrare la coltura prima del taglio, deve mantenerla anche dopo, finché il campione non si trova in prossimità dell'apposito contenitore, dove avverrà l'operazione di deposito con il rilascio del campione.

2.1 Prima versione del meccanismo

In precedenza, sempre presso il Politecnico di Torino, è stato svolto un lavoro di Tesi riguardante la progettazione di un utensile di presa-taglio, che ha portato alla concezione di una prima versione del meccanismo. Il punto di partenza di questo lavoro, quindi, è stato quello di andare ad analizzare le criticità della proposta precedente per individuare i punti chiave su cui intervenire per ottimizzare il meccanismo [13].

Il meccanismo precedente, Figura 2.2, è a cinematica imposta, ovvero, il moto dei vari membri è definito dalle guide e asole su cui scorrono i perni dei vari elementi.

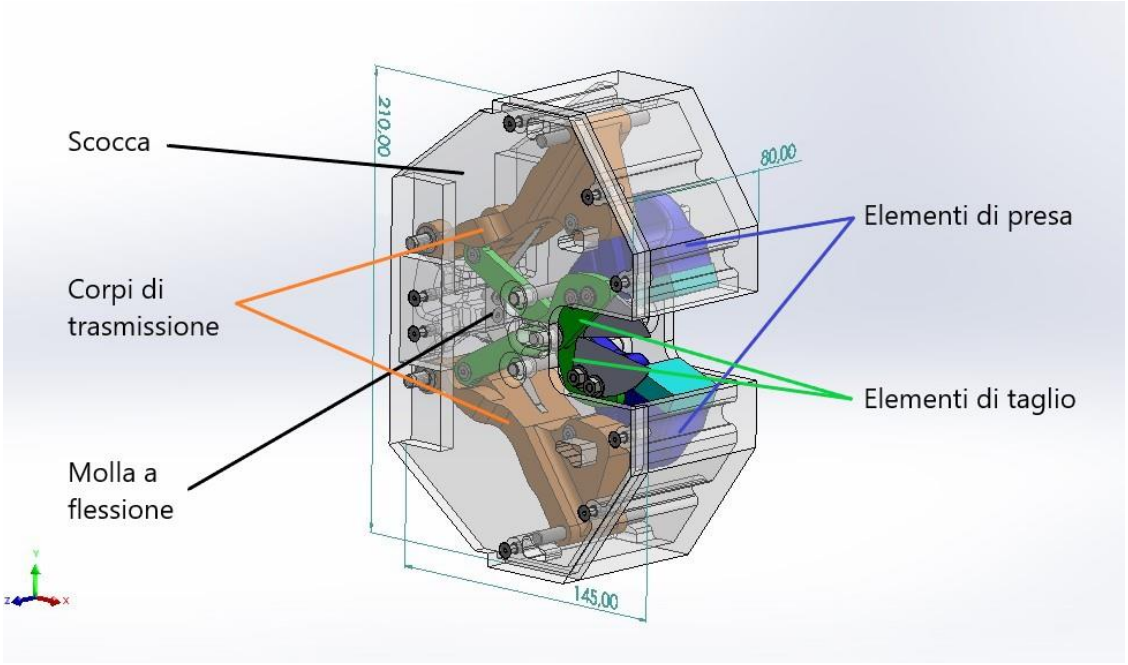


Figura 2.2 Complessivo dell'utensile precedente (misure in millimetri)

Il suo funzionamento consiste nell'andare a sfruttare la pinza del robot per portare in rotazione i corpi di trasmissione (elementi arancioni della Figura 2.2) che a loro volta azionano gli elementi di presa (in blu) e taglio (in verde). Raggiunta l'inclinazione del corpo di trasmissione di 26°, quindi a seguito di una rotazione di circa metà del moto disponibile, si chiudono gli elementi di presa. Da questo punto i corpi di presa restano nella posizione raggiunta, mentre il moto dei membri di trasmissione portano a chiusura le lame. Una volta ottenuto il campione è possibile trasportarlo fino alla zona di deposito, dove basta riaprire la pinza Kinova affinché il meccanismo si apra e lasci cadere il campione.

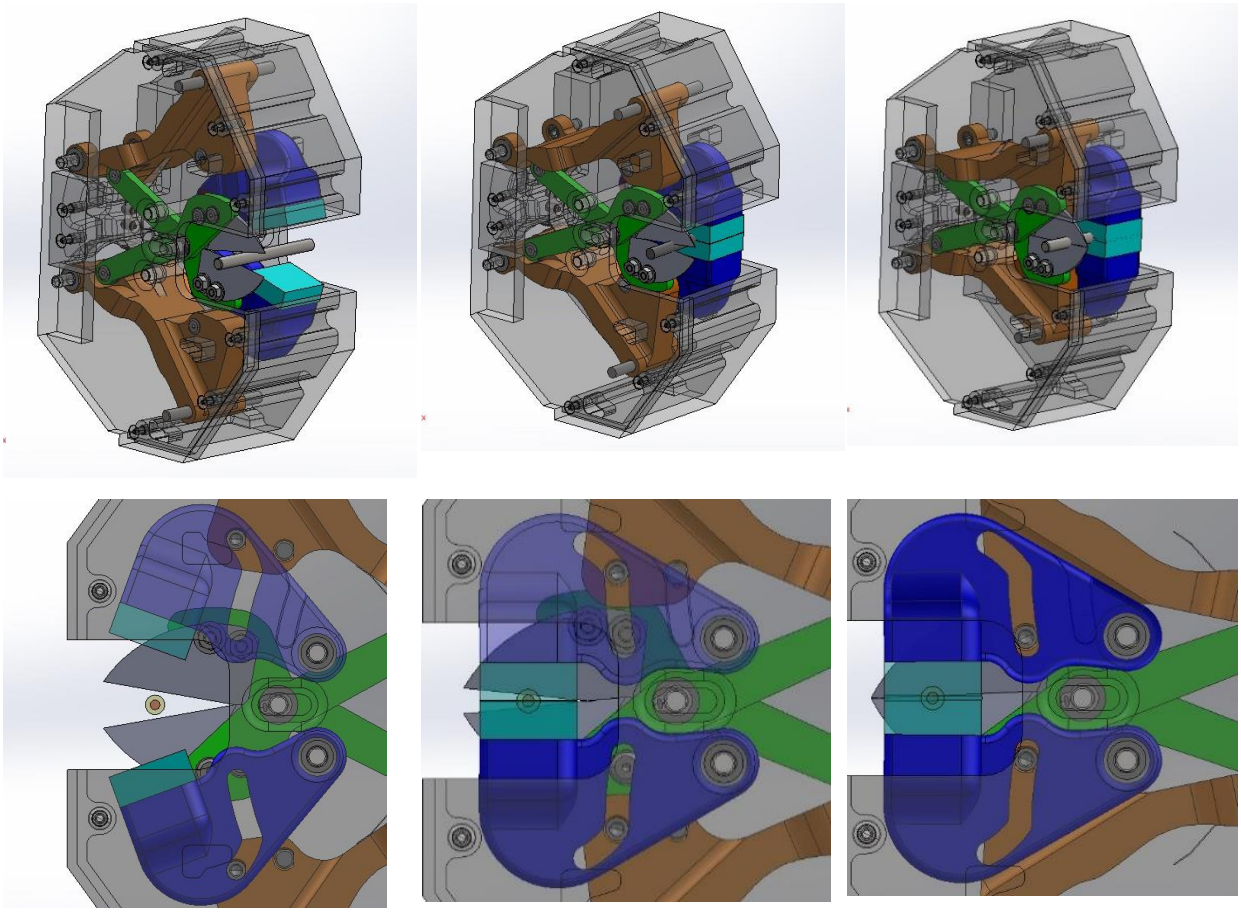


Figura 2.3 Illustrazione funzionamento del meccanismo precedente: foto in alto rappresentano la vista dell'intero meccanismo, in basso il dettaglio dell'elemento di presa e taglio in corrispondenza della stessa inclinazione dell'elemento di trasmissione

Questa soluzione però presenta diverse criticità, la più rilevante è che, essendo il meccanismo a cinematica imposta, l'adattamento alle diverse tipologie di ramo viene garantito solo dal materiale soft presente all'estremità del membro di presa. Inoltre, il bloccaggio del ramo non avviene prima del taglio ma avviene quasi contemporaneamente, questo potrebbe comportare il rischio di fare perdere il campione all'elemento di presa durante il taglio. Un'altra criticità che può essere evidenziata è la dimensione: per via della scocca esterna l'utensile risulta ingombrante; quindi, non potrebbe addentrarsi con facilità in una vegetazione fitta. Infine, essendo composto da un gran numero parti, il suo assemblaggio risulta complicato, e nel complesso, il meccanismo risulta anche pesante, poiché oltre agli elementi in plastica, c'è un l'elevato numero di componenti metallici.

A partire da queste criticità si è deciso di andare a ri-progettare il meccanismo, andando a sviluppare una proposta funzionale differente che potesse risolvere questi problemi.

Riassumendo, le criticità principali di questo meccanismo sono:

- Essendo a cinematica imposta, l'adattamento alle diverse tipologie di rami viene garantito solo dalla presenza del materiale soft presente all'estremità dei membri di presa;
- Il bloccaggio del ramo non avviene prima del taglio, ma avviene contemporaneamente;
- Per via della scocca esterna risulta ingombrante, quindi non permetterebbe all'utensile di addentrarsi in una vegetazione fitta;
- Pesante: composto da numerosi componenti di minuteria meccanica in acciaio;
- Complesso: visto l'elevato numero di parti che lo compongono;

2.2 Specifiche progettuali

Simulando le operazioni fatte dagli agricoltori durante la potatura, si desidera che l'elemento di presa si chiuda prima dell'operazione di taglio da parte della lama, mantenendo bloccato il campione per tutta la durata del taglio e nella successiva riapertura della lama.

Uno dei requisiti di progetto è quello di potersi adattare a qualsiasi tipologia di dimensione e forma del ramo, questo porta il meccanismo a non vincolare cinematicamente i link di presa a quelli di taglio; pertanto, tali funzioni dovranno essere in qualche modo disaccoppiate. Inoltre, dev'essere sotto-attuato, ovvero, che da un input (rotazione delle dita del gripper) vada a generare due output (rotazioni dell'elemento di presa e di taglio).

Data l'incertezza delle capacità della pinza Kinova [14,15] in dotazione, si desidera una coppia di taglio che sia la più elevata possibile per assicurare che l'operazione di taglio venga eseguita correttamente. Inoltre, si vuole controllare la forza che agisce sull'elemento di presa del ramo per poter aumentare la coppia di presa se necessario; quindi, bisogna prevedere delle molle con precarico tarabile.

Per quanto riguarda le dimensioni si cerca di avere un meccanismo snello per facilitare la potatura di campioni all'interno di colture fitte, e leggero per i limiti di peso permessi dal braccio robotico.

Infine, si vuole che l'utensile sia in grado di raccogliere campioni vegetativi con diametri che vanno fino a circa $\phi = 7 \div 8\, mm$.

2.3 Progettazione funzionale

La progettazione si è focalizzata sullo sviluppo di una proposta funzionale differente, che potesse risolvere i problemi del meccanismo precedente. Inizialmente, per non avere limiti progettuali dovuti alle dimensioni ed alla cinematica del gripper, la progettazione è stata incentrata sullo sviluppo dell'utensile ad uso manuale. Solo successivamente, dopo aver validato il suo corretto funzionamento attraverso un primo prototipo azionato manualmente, si è passati ad una vestizione costruttiva che permettesse di azionare l'utensile attraverso il gripper sotto-attuato del manipolatore articolato.

Quindi, in questo capitolo verranno approfondite le operazioni di presa, taglio e deposito da parte dell'utensile, mentre la caratteristica di afferraggio dell'utensile da parte della pinza verrà analizzata più avanti, nel capitolo 3.3.

Per poter eseguire tali operazioni, il meccanismo necessita dei seguenti membri: elemento di presa, elemento di taglio e telaio.

Elemento di presa

Per afferrare i campioni ci si è basati sull'esperienza umana dove le piccole colture vengono prese tra le dita, avvicinando i polpastrelli in modo che risultino circa paralleli e mantenendoli in posizione prima, durate e successivamente alla fase di taglio, riaprendoli quando è necessario depositarle.

In quest'ottica, per effettuare la presa dei campioni si è pensato di utilizzare un elemento che si avvicini lateralmente al campione da afferrare e che quando viene chiuso mandi in battuta il ramo sul telaio, per bloccarlo e mantenerlo in posizione.

Elemento di taglio

La necessità di ottenere una forza sufficientemente elevata per tagliare i campioni a partire da quella limitata prodotta dal gripper richiede un elevato guadagno di forza del meccanismo di taglio: uno dei modi più semplici per ottenere buoni guadagni è sfruttare il principio della leva. Difatti, i principali utensili per operazioni di taglio, come forbici, cesoie e tronchesi, utilizzano leve vantaggiose del primo genere per moltiplicare la forza prodotta dalle mani. L'idea è quindi di avere un elemento che sfrutti questo principio per andare a tagliare il ramo che è stato portato in battuta sul telaio dall'elemento di presa.

Telaio

Risulta necessaria la presenza di un telaio, attorno al quale ruota tutto il meccanismo e su cui, sia l'elemento di presa, sia quello di taglio vadano in battuta, in modo tale da avere anche un finecorsa di chiusura.

Sulla base delle funzioni che devono svolgere i singoli componenti, si è cercato di realizzare due schemi funzionali del meccanismo, che rispettassero le specifiche di progetto viste precedentemente e che verranno nominati:

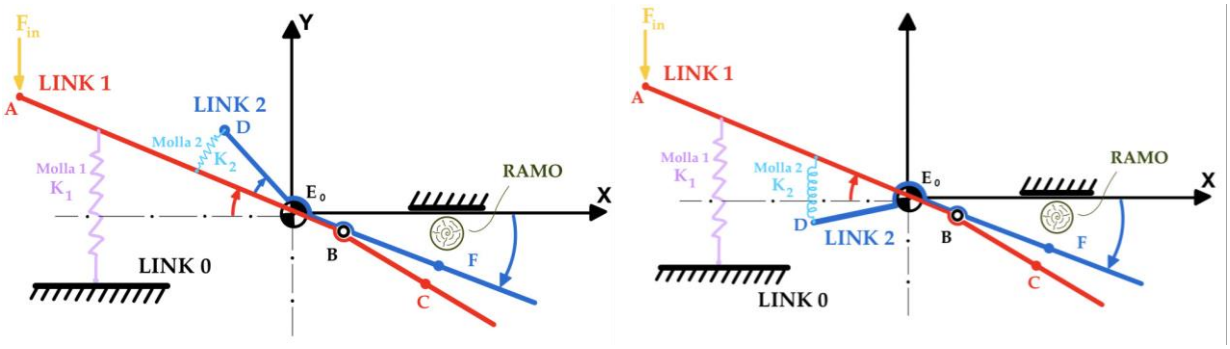
- Meccanismo con molla a trazione
- Meccanismo con molla a compressione

L'unica differenza tra questi due è il tipo di molla che viene utilizzata tra il porta-lama e l'elemento di presa, che nel primo caso lavorerà a trazione, mentre nell'altro caso a compressione come suggeriscono i nomi. A livello funzionale non c'è differenza tra i due schemi.

In Figura 2.4 , è possibile vedere che, per entrambi gli schemi, il meccanismo è composto da:

— tre link: telaio, porta-lama (o elemento di taglio), elemento di presa;
— due cerniere: una fissa al telaio ed una mobile;
— due molle: una che collega telaio e porta-lama, l'altra che collega porta-lama ed elemento di presa;

L'idea è quella di avere un sistema che a fronte di un input, che può essere la forza esercitata dalla mano oppure dalle dita della pinza Kinova, generi due output: la rotazione dell'elemento di taglio e dell'elemento di presa.



(a) (b)

Figura 2.4 Schemi funzionali: (a) configurazione con molla a trazione; (b) configurazione con molla a compressione

Come già scritto in precedenza, la differenza tra i due schemi funzionali sta solo nel tipo di molla che collega il porta-lama con l'elemento di presa (molla 2), che in un caso è a trazione e nell'altro a compressione. La sostituzione della molla a trazione, con una a compressione, comporta il vantaggio di ridurre l'ingombro lungo l'asse y dell'utensile, visto che con l'introduzione di quest'ultima, il segmento $\boldsymbol{DE_0}$ verrebbe ruotato in senso antiorario, rientrando così nel volume già occupato da porta-lama e telaio. In questo modo si elimina l'ingombro provocato da $\boldsymbol{DE_0}$ nel caso della molla a trazione.

Per semplicità e per evitare di appesantire la trattazione si è scelto di fare riferimento ad un solo schema funzionale, in particolare a quello con la molla che lavora *a trazione*, Figura 2.5, poiché valgono gli stessi ragionamenti per entrambi. Mentre il meccanismo con la molla che lavora *a compressione* verrà ripreso nel capitolo 2.5.2 dove si effettua il suo dimensionamento. Ovviamente, il link 0 (Figura 2.5) non è fisso poiché si muoverà in moto relativo rispetto al link 1, ma inizialmente è stato rappresentato come un telaio fisso per facilitare lo schema andando a mantenere fermo uno dei due link.

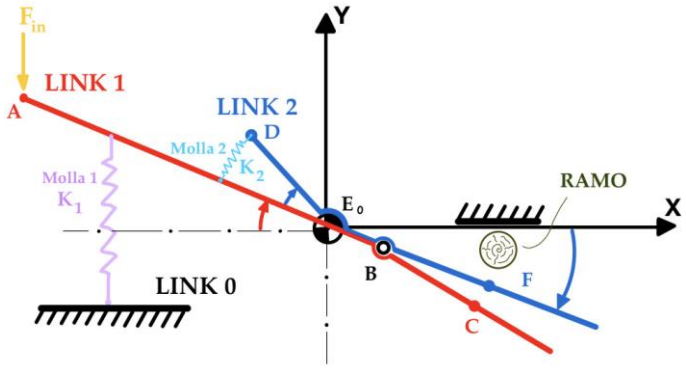


Figura 2.5 Schema funzionale meccanismo nella configurazione con molla a trazione

Descrizione nomenclatura dello schema funzionale:

Tabella 1 Descrizione nomenclatura schema funzionale

Nome	Descrizione
Link 0	Telaio
Link 1	Elemento di taglio o Porta-lama
Link 2	Elemento di presa
Molla 1	Molla interposta tra telaio e link 1
Molla 2	Molla interposta tra link 1 e link 2
E_0	Cerniera fissa (coincide con l'origine del s.d.r.)
B	Cerniera mobile
α	Angolo tra orizzontale e porta-lama
β	Angolo tra orizzontale e elemento di presa
ε	Angolo tra porta-lama ed elemento di presa
F_{in}	Forza in ingresso (input)
K_1	Rigidezza molla 1
K_2	Rigidezza molla 2

Come si può vedere dallo schema funzionale di **Figura 2.5**, il porta-lama, sul quale si ipotizza che agisca una forza d'ingresso che tenda ad avvicinarlo al link 0, è inclinato di un certo angolo **α**, mentre l'elemento di presa si trova ad una inclinazione maggiore rispetto all'orizzontale **(α+ε)** poiché bisogna garantire lo spazio per l'interposizione di una molla. A destra della cerniera **B**, invece, l'elemento di presa è inclinato di un angolo **β** e si può notare uno sfasamento rispetto al porta-lama, con quest'ultimo in ritardo rispetto al ramo, per garantire che avvenga prima la presa del ramo e successivamente il taglio.

Per chiarire meglio il suo funzionamento, le operazioni che il meccanismo svolge sono state suddivise in tre fasi:

1. **FASE DI PRESA RAMO:** la forza d'ingresso agente sul link 1, farà ruotare entrambi i link 1 e 2 attorno alla cerniera fissa E_0 fino a che l'elemento di presa non toccherà il ramo, andando a bloccarlo. Ora la rotazione del link 2 è bloccata dal ramo, quindi, continuando ad agire con la forza il porta-lama continuerà a ruotare, ma ora ruoterà attorno alla cerniera mobile B e all'aumentare della rotazione aumenterà la coppia di presa del ramo dovuta all'allungamento della molla che collega i link 1 e link 2.

2. **FASE DI TAGLIO E MANTENIMENTO**: agendo ancora con la forza di input sul porta-lama possiamo continuare la rotazione del link 1 attorno alla cerniera mobile B fino a che non andiamo a completare il taglio del ramo, separando così il campione dalla pianta. Quando andiamo a tagliare completamente il ramo, abbiamo la chiusura completa della nostra forbice e quindi anche il massimo allungamento della molla 2 per quel determinato diametro del ramo; questo garantisce che il ramo rimanga bloccato tra l'elemento di presa e il telaio, permettendo così il mantenimento del campione fino a che non si raggiunge l'apposito contenitore per effettuare il deposito.

3. **FASE DI DEPOSITO (O DI RILASCIO):** Il deposito viene effettuato semplicemente rilasciando la forza di ingresso che agisce sul porta-lama, permettendo così al ramo di cadere visto che non agirà più la coppia di presa e il meccanismo si riposizionerà nella configurazione iniziale.

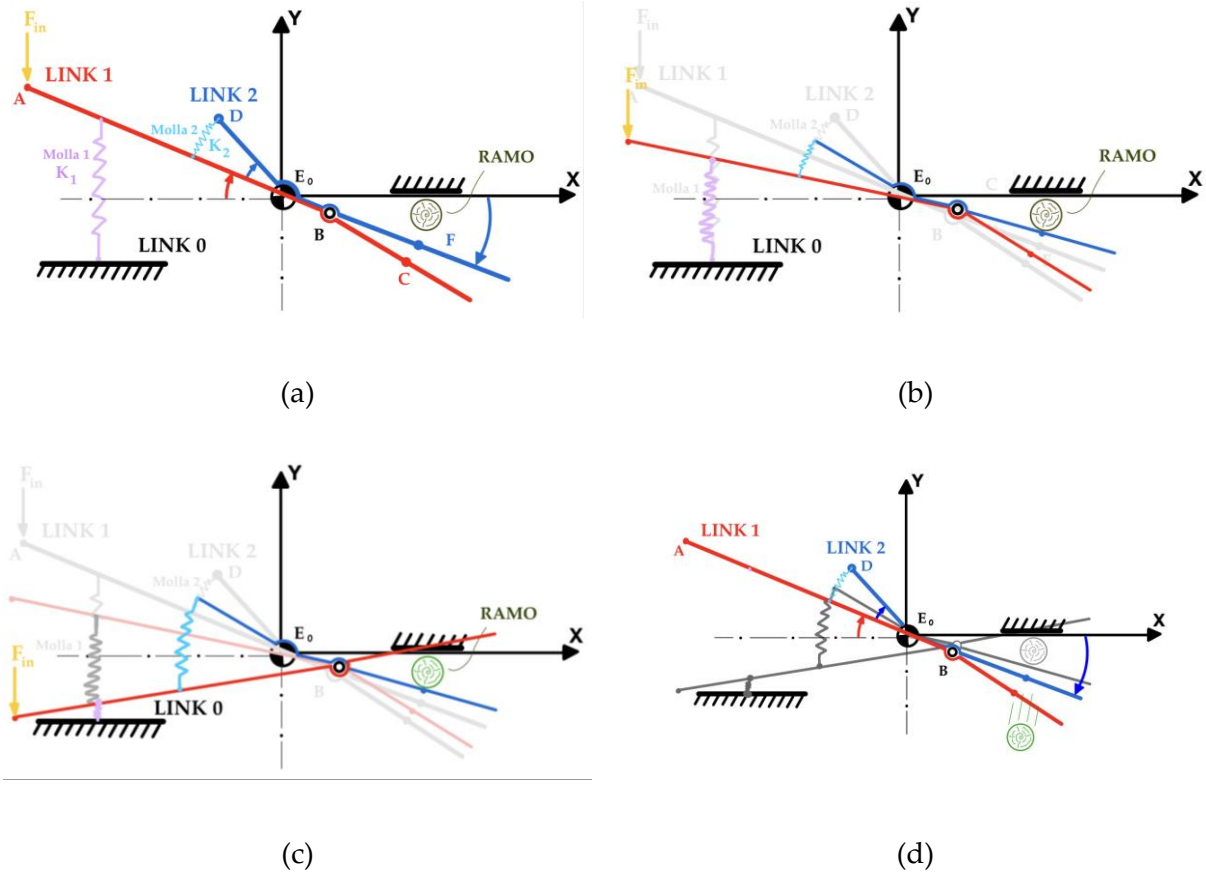


Figura 2.6 Schemi con meccanismo in funzione: (a) meccanismo in configurazione iniziale; (b) Fase di presa ramo; (c) Fase di mantenimento e taglio ramo; (d) fase di deposito (o rilascio) ramo

In Figura 2.6 vengono illustrate le varie fasi schematicamente: nella figura (a) il meccanismo si trova nella configurazione di riposo; nella figura (b), invece, si evidenzia la fase di presa ramo, nella quale l'elemento di presa (blu) incontra il ramo andandolo a bloccare; nella figura (c) si osserva la fase di mantenimento e taglio, dove il porta-lama continua a ruotare andando ad eseguire il taglio nel mentre l'elemento di presa esercita una coppia di chiusura sul ramo sempre maggiore, per via dell'allungamento della molla 2; infine, in nella figura (d) si ha la fase di deposito (o rilascio) del ramo, dovuta al fatto che non si ha più la presenza della forza di ingresso Fin.

2.4 Analisi Parametrica

Dallo schema funzionale, sono stati individuati i parametri e le variabili del meccanismo per poter eseguire l'analisi parametrica e andare a vedere l'influenza dei vari parametri sulle prestazioni e sul comportamento del meccanismo.

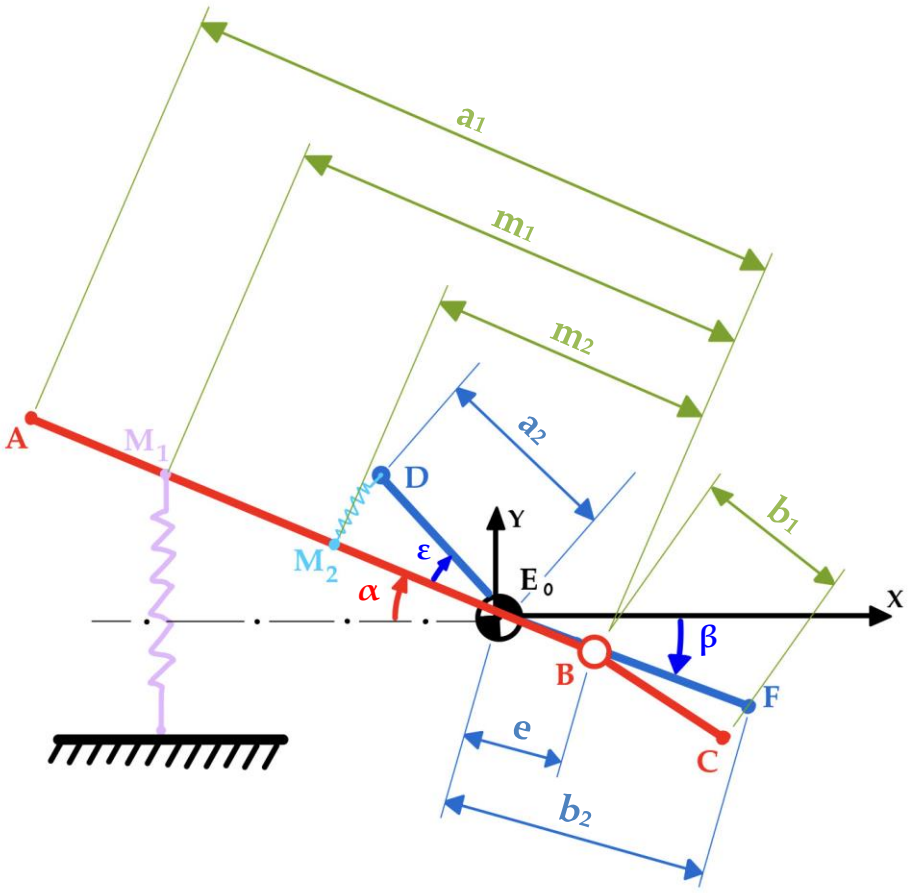


Figura 2.7 Schema funzionale con parametri e variabili

Nelle successive tre tabelle viene fatta una descrizione dei parametri e delle variabili di porta-lama ed elemento di presa.

Tabella 2 Parametri Porta-lama (o elemento di taglio)

Parametro	Descrizione
a_1	Distanza tra la cerniera **B** e l'estremo di sinistra **A** del porta-lama
m_1	Distanza tra la cerniera **B** e il punto di ancoraggio della *molla 1*
m_2	Distanza tra la cerniera **B** e il punto di ancoraggio *molla 2*
b_1	Distanza tra la cerniera **B** e la zona di taglio **C** del porta-lama

Tabella 3 Parametri elemento di presa

Parametro	Descrizione
a_2	Distanza tra la cerniera fissa E_0 e l'estremo di sinistra **D**
e	Distanza tra la cerniera fissa E_0 e la cerniera mobile **B**
b_2	Distanza tra la cerniera fissa E_0 e la zona di presa **F**

Tabella 4 Variabili meccanismo

Variabile	Descrizione
α	Angolo di rotazione del Link 1 rispetto all'asse X
β	Angolo di rotazione del Link 2 rispetto all'asse X
ε	Angolo di fasatura tra Link 1 e Link 2

Individuati i parametri e le variabili del meccanismo, è possibile andare a rappresentare il diagramma di corpo libero del porta-lama (Figura 2.8), per ricavare la formula del guadagno del meccanismo da utilizzare nell'analisi.

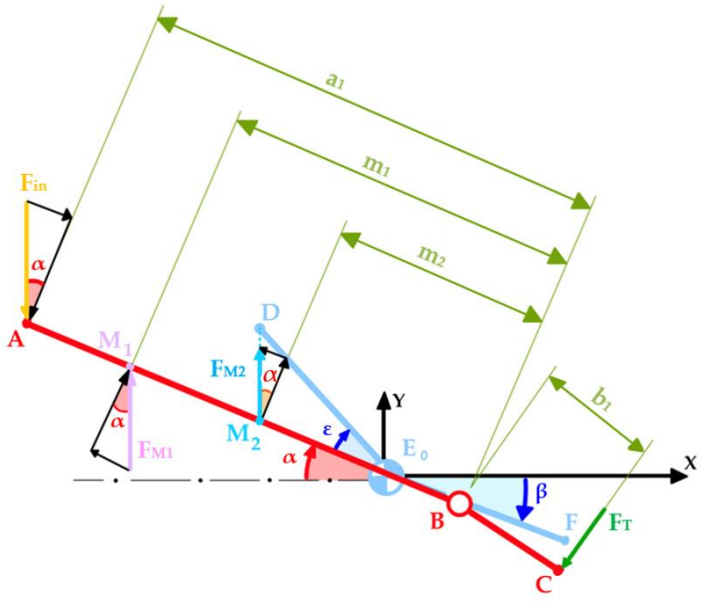


Figura 2.8 Diagramma di corpo libero del porta-lama

Dal diagramma di corpo libero è possibile scrivere che il guadagno di forza G che è dato dal rapporto tra F_T (forza di taglio) e F_{in} (forza ingresso):

$$G = \frac{F_T}{F_{in}}$$

Dall' equilibrio alla rotazione intorno alla cerniera B, si ricava:

$$F_T = \frac{F_{in}\ \cos\alpha\ a_1 - F_{M1}\ \cos\alpha\, m_1 - F_{M2}\cos\alpha\, m_2}{b_1}$$

Con:

- $F_{M1} = K_{M1}\,\Delta l_1$
- $F_{M2} = K_{M2}\,\Delta l_2$

Sapendo che K_M rappresenta la rigidezza e Δl rappresenta l'accorciamento/ l'allungamento delle rispettive molle.

Quindi possiamo andare a scrivere il guadagno di forza come:

$$G = \frac{F_{in}\ \cos\alpha\ a_1 - F_{M1}\ \cos\alpha\, m_1 - F_{M2}\cos\alpha\, m_2}{b_1} * \frac{1}{F_{in}}$$

Da cui si ricava che per massimizzare il guadagno di forza dobbiamo incrementare il parametro a_1 e diminuire i parametri m_1, m_2 e b_1; anche se quest'ultimo dipende dalle dimensioni delle lame che si trovano in commercio.

Prima di procedere con l'analisi, bisogna fare un'osservazione sul parametro $\mathbf{m_2}$: per poter posizionare il punto $\mathbf{M_2}$ nella miglior posizione, devo tenere conto anche di dove si trova il punto **D** visto che i due punti saranno collegati da una molla. Sappiamo che la forza esercitata dalla molla 2 è necessaria all'elemento di presa (link 2) per bloccare il ramo, al tempo stesso però, essa gioca contro al porta-lama (link 1) andando quindi a diminuire la coppia di taglio. Volendo privilegiare in questo caso la coppia di presa, si andrà a posizionare il punto $\mathbf{M_2}$ in modo tale che il segmento che lo unisce a **D** sia perpendicolare ad $\mathbf{a_2}$ (segmento $\mathbf{DE_0}$). Il ragionamento fatto è visibile in Figura 2.9.

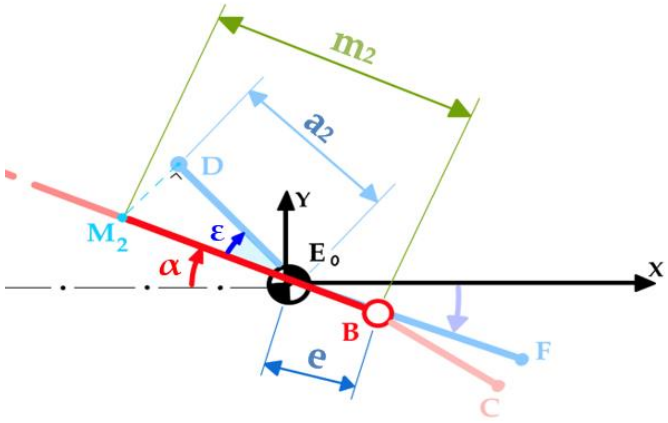


Figura 2.9 Dettaglio del punto M_2 di ancoraggio della molla

Quindi, $\mathbf{m_2}$ non è un parametro che si può variare a piacimento ma è funzione di **e,** $\mathbf{a_2}$ e dell'angolo **ε**:

$$m_2 = e + \frac{a_2}{\cos(\varepsilon)} \tag{2.1}$$

Per poter vedere l'effetto dei vari parametri del meccanismo sul suo comportamento si è effettuata un'analisi parametrica, scegliendo b_1 come parametro caratteristico del meccanismo rispetto al quale definire i seguenti rapporti, di cui si evidenziano anche i valori attribuiti:

$$b_1 = [15, 20, 25, 30, 35]\ mm\ ;$$

$$Ra_1 = \frac{a_1}{b_1} = [2,\ 4,\ 6,\ 8,\ 10]\ ;$$

$$Rm_1 = \frac{m_1}{b_1} = [1,\ 1.5,\ 2,\ 2.5,\ 3]\ ;$$

$$Ra_2 = \frac{a_2}{b_1} = [1,\ 2,\ 3,\ 4,\ 5]\ ;$$

$$Re = \frac{e}{b_1} = [-0.8,\ -0.4,\ 0,\ 0.4,\ 0.8]\ ;$$

Tali valori sono stati ipotizzati in funzione delle dimensioni delle forbici da potatura che si trovano sul mercato, in modo da avere dimensioni simili.

I parametri principali da analizzare sono la coppia di presa che viene esercitata sul ramo, e il guadagno di coppia *G* ottenibile, al fine di riuscire a garantire una coppia sufficiente a completare il taglio.

Per eseguire questa analisi si è scritto un codice MatLab che simula il movimento del porta-lama, sotto l'azione di una forza diretta verticalmente (F_{in}), e dando in output le caratteristiche e le prestazioni del meccanismo di presa-taglio, combinando i vari parametri come descritto nei paragrafi seguenti.

Per quanto riguarda i valori iniziali delle variabili (α, β, ε), sono stati ipotizzati in funzione di:

a. apertura massima che l'utensile deve avere per poter essere afferrato facilmente con la mano ($\alpha < 55°$)
b. apertura minima tra lama e battente per poter accogliere un ramo di diametro massimo di 8 *mm* ($\beta > 20°$)
c. sfasamento sufficiente per permettere l'inserimento di una molla tra porta-lama ed elemento di presa ($\varepsilon > 10°$)

I valori iniziali scelti per le variabili sono:

Tabella 5 Valori iniziali delle variabili

Variabile	Valore iniziale
α	**[36° -8°]**
β	**35°**
ε	**15°**

Alle rigidezze delle molle sono stati assegnati dei valori corrispondenti a quelle sul mercato, tenendo conto anche degli ingombri. Tali valori si riportano nella tabella seguente.

Tabella 6 Valori rigidezza delle molle

Coefficiente	Valore iniziale
K_1	**1 N/mm**
K_2	**0.407 N/mm**

2.4.1 Effetto punto di applicazione forza sul porta-lama: parametro b1

Dapprima si è analizzata l'influenza di b_1 sul meccanismo, andando ad imporre i seguenti valori:

$$b_1 = [15, 20, 25, 30, 35]\, mm$$

Con: $a_1 = 120\, mm;\ m_1 = 40\, mm;\ a_2 = 40\, mm;\ e = 0$;

Dai grifici di Figura 2.10, 2.11, 2.12 si osserva che all'aumentare di b_1 il guadagno diminuisce, poiché la forza di reazione esercitata dal ramo risulta avere un braccio maggiore. Il valore di b_1, però, non può essere troppo piccolo perché dev'essere scelto anche in funzione del diametro massimo del ramo che vogliamo andare a tagliare, che avevamo già detto in precedenza essere $\phi = 7 \div 8\, mm$. Inoltre, dobbiamo tenere conto anche dalla lunghezza delle lame che ci sono in commercio, che varia tra $l = 40 \div 60\, mm$. Tenendo conto di questo, andiamo ad assegnare un valore di:

$$\boldsymbol{b_1 = 20\, mm}$$

Essendo b_1 la metà della lama, si prevede di utilizzare una lama lunga circa 40 mm.

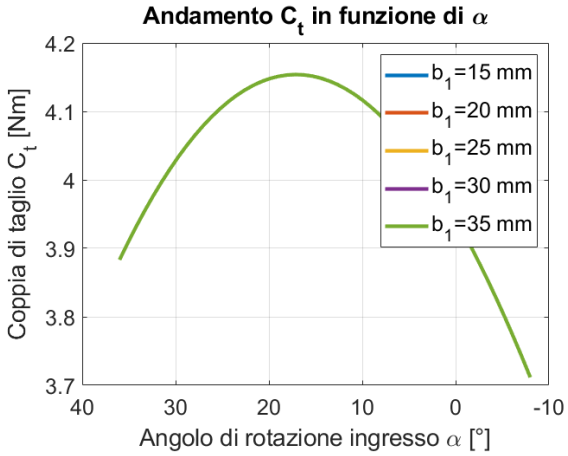


Figura 2.10 Influenza di b1 sulla Coppia di taglio

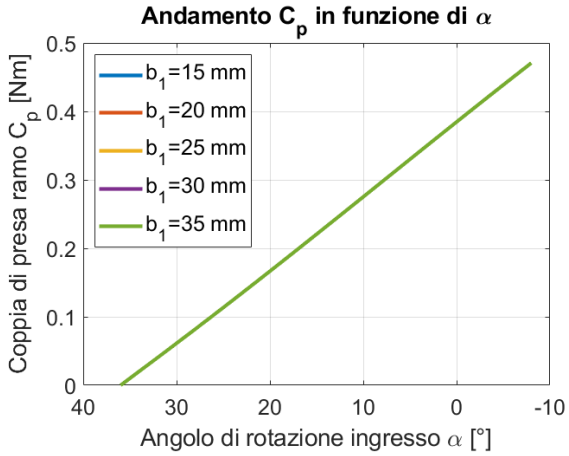


Figura 2.11 Influenza di b1 sulla Coppia di presa

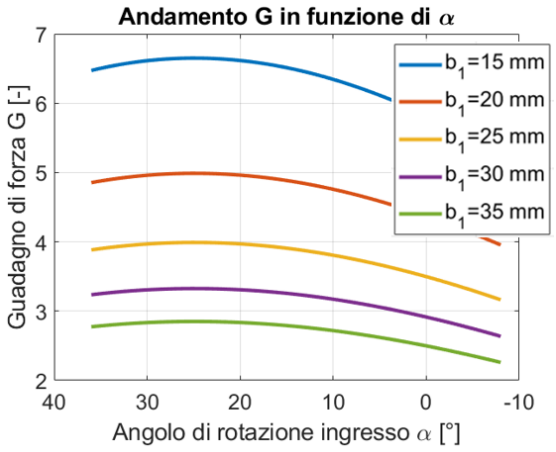


Figura 2.12 Influenza di b1 sul Guadagno di forza

2.4.2 Effetto del braccio del porta-lama: parametro a1

Valori:

$$R_{\mathrm{a1}} = \frac{a_1}{b_1} = [2,\ 4,\ 6,\ 8,\ 10]$$

Con: $b_1 = 20\ mm;\ R_{\mathrm{m1}} = \frac{m_1}{b_1} = 2;\ R_{\mathrm{a1}} = \frac{a_2}{b_1} = 2;\ \ R_{\mathrm{e}} = \frac{e}{b_1} = 0\,;$

Quello che succede è che all'aumentare di a_1, aumentano sia la coppia di taglio che il guadagno di forza, poiché si sta aumentando il braccio su cui agisce la forza d'ingresso. La coppia di presa invece rimane invariata, poiché essa non è influenzata dalla variazione di a1.

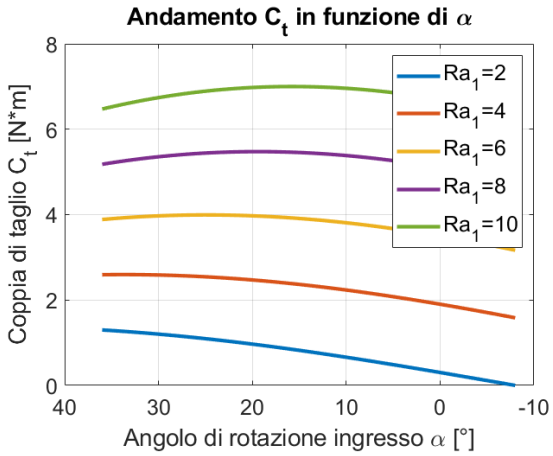


Figura 2.13 Influenza di a1 sulla Coppia di Taglio

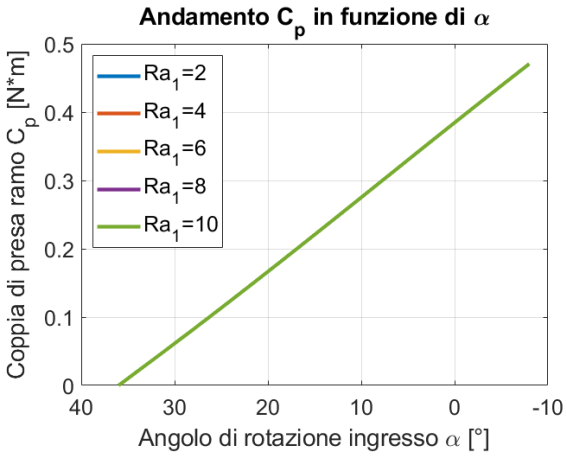


Figura 2.14 Influenza di a1 sulla Coppia di Presa

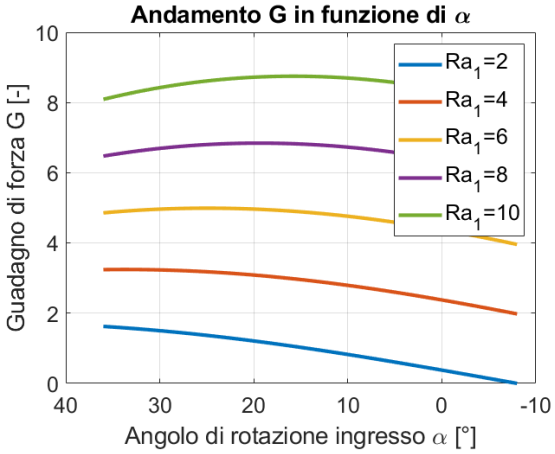


Figura 2.15 Influenza di a_1 sul Guadagno di forza

2.4.3 Effetto distanza molla 1 rispetto alla cerniera B: parametro m1

Valori:

$$R_{\mathrm{m1}} = \frac{m_1}{b_1} = [1,\ 1.5,\ 2,\ 2.5,\ 3]$$

Con: $b_1 = 20\ mm;\ R_{\mathrm{a1}} = \frac{a_1}{b_1} = 6;\quad R_{\mathrm{a2}} = \frac{a_2}{b_1} = 2;\quad R_{\mathrm{e}} = \frac{e}{b_1} = 0\ ;$

All'aumentare di m_1, si osserva, una diminuzione della coppia di taglio, dovuta al fatto che aumenta il braccio della forza elastica della molla 1 e la direzione di tale forza è contraria al moto del porta-lama. Quindi l'aumento di m_1 gioca a sfavore della coppia di taglio e del guadagno. Mentre la coppia di taglio rimane invariata perché non è influenzata dalla variazione di m_1.

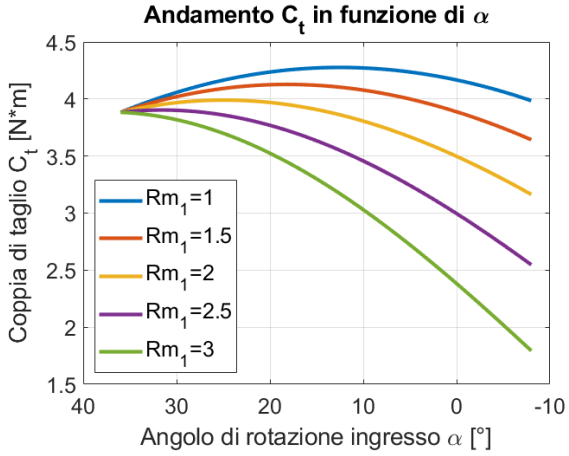


Figura 2.16 Influenza di m_1 sulla Coppia di Taglio

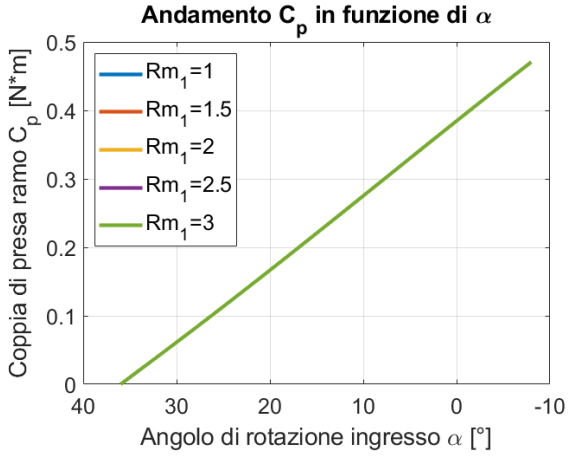


Figura 2.17 Influenza di m_1 sulla Coppia di Presa

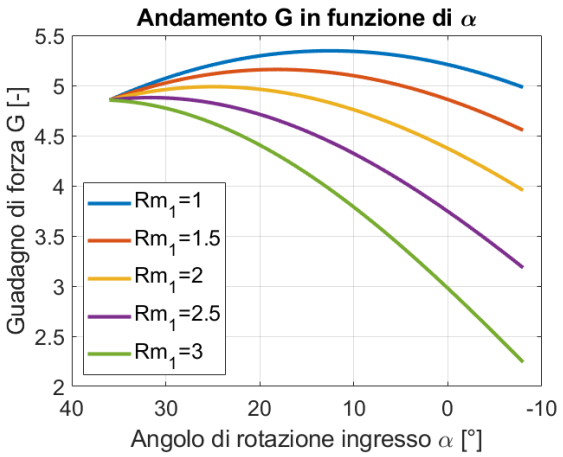


Figura 2.18 Influenza di m1 sul Guadagno di forza

2.4.4 Effetto del braccio dell'elemento di presa: parametro a2

Valori:

$$R_{a2} = \frac{a_2}{b_1} = [1, 2, 3, 4, 5]$$

Con: $b_1 = 20\ mm$; $R_{a1} = \frac{a_1}{b_1} = 6$; $R_{m1} = \frac{m_1}{b_1} = 2$; $R_e = \frac{e}{b_1} = 0$;

All'aumentare di a_2, aumenta la coppia di presa e diminuiscono la coppia di taglio e il guadagno di forza.

L'aumento di C_P è dovuto semplicemente al fatto che si va ad aumentare il braccio su cui agisce la forza elastica della molla 2, che porta in rotazione l'elemento di presa, e quindi aumenta la coppia di presa sul ramo.

La diminuzione di C_t invece, è dovuta al fatto che aumenta anche m_2, visto che è direttamente proporzionale all'aumento di a_2, come abbiamo già visto nell'equazione (2.1).

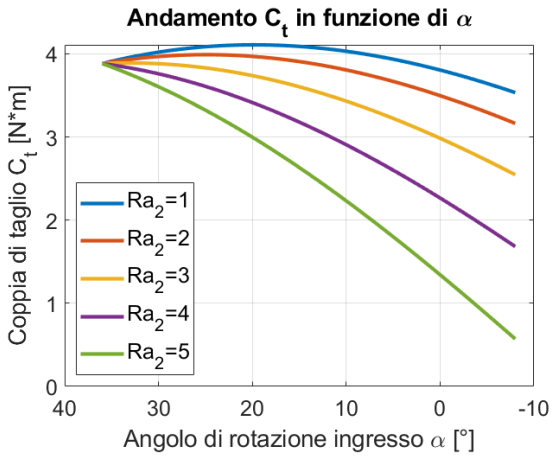


Figura 2.19 Influenza di a_2 sulla Coppia di Taglio

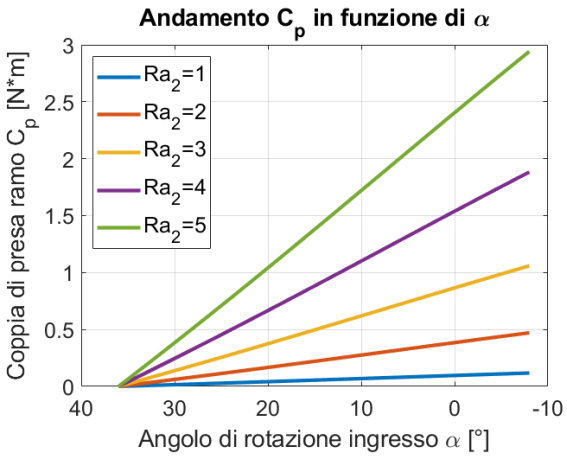


Figura 2.20 Influenza di a2 sulla Coppia di Presa

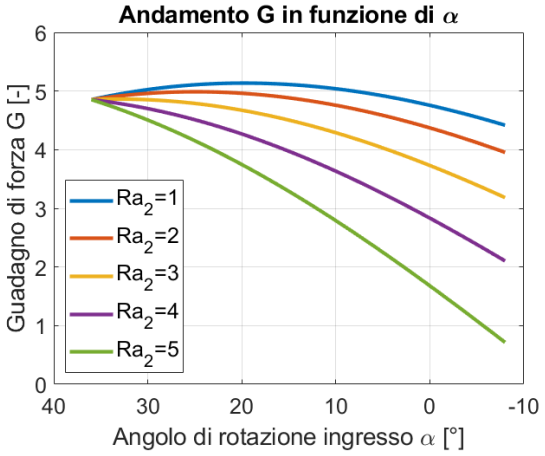


Figura 2.21 Influenza di a_2 sul Guadagno di forza

2.4.5 Effetto eccentricità cerniera mobile B rispetto alla cerniera fissa E_0: parametro e

Valori:

$$R_e = \frac{e}{b_1} = [-0.8, -0.4, 0, 0.4, 0.8]$$

Con: $b_1 = 20\ mm$; $R_{a1} = \frac{a_1}{b_1} = 6$; $R_{m1} = \frac{m_1}{b_1} = 2$; $R_{a2} = \frac{a_2}{b_1} = 2$;

Per vedere l'effetto dell'eccentricità **e** si ipotizza di voler limitare l'ingombro totale del meccanismo (la dimensione totale non ha importanza, questa ipotesi serve solo per capire se avere un $e \neq 0$ porta un vantaggio o meno). Partendo dalla configurazione di $e = 0$, si va a spostare il porta-lama dando prima un'eccentricità $e < 0$ e successivamente $e > 0$. Se lo

spostamento del porta-lama fuoriesce dall'ingombro totale che si era imposto dovrà essere accorciato, altrimenti aumentato. In questo modo si può fare un confronto equo.

Quello che emerge dai grafici è che per $e \neq 0$, la coppia di presa $\boldsymbol{Cp}$:

- Se $\boldsymbol{e < 0}$: diminuisce perché diminuisce il braccio $\boldsymbol{m2}$ (visto che la cerniera mobile $\boldsymbol{B}$ si sposta verso sinistra) quindi a parità di rotazione si ha un allungamento minore della molla.
- Se $\boldsymbol{e > 0}$**:** aumenta, per lo stesso motivo di prima, solo che ora il braccio $\boldsymbol{m2}$ aumenta, quindi aumenta anche l'allungamento della molla a parità di angolo di rotazione.

Per quanto riguarda la coppia di taglio $\boldsymbol{Ct}$ e il guadagno $\boldsymbol{G}$ invece:

- Se $\boldsymbol{e < 0}$: diminuiscono entrambi poiché a parità di ingombro $\boldsymbol{a1}$ diminuisce e $\boldsymbol{b1}$ aumenta. Si può notare che la diminuzione del Guadagno è ancora più significativa rispetto a quella della Coppia di Taglio, questo è dovuto al fatto che nella formula del guadagno c'è la presenza di $\boldsymbol{b1}$ a denominatore e visto che, in questo caso, $\boldsymbol{b1}$ deve essere aumentato per poter eseguire il taglio, andrà a diminuire maggiormente il Guadagno.
- Se $\boldsymbol{e > 0}$**:** $\boldsymbol{a1}$ e $\boldsymbol{b1}$ non variano, ma ho un aumento di $\boldsymbol{m1}$ e $\boldsymbol{m2}$; quindi, le forze esercitate dalle molle avranno un braccio maggiore, di conseguenza la coppia di taglio ed il guadagno saranno inferiori rispetto al caso con $e = 0$.

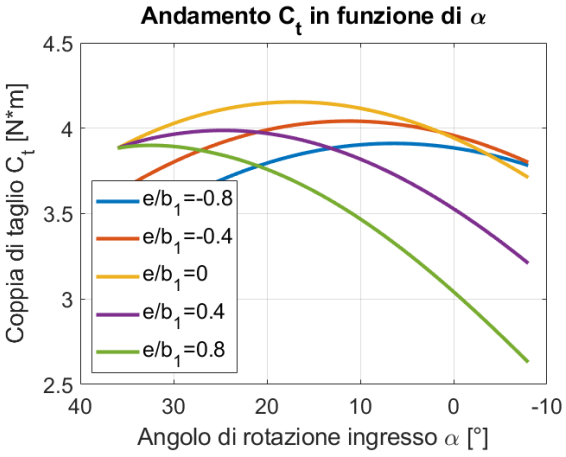


Figura 2.22 Influenza di e sulla Coppia di taglio

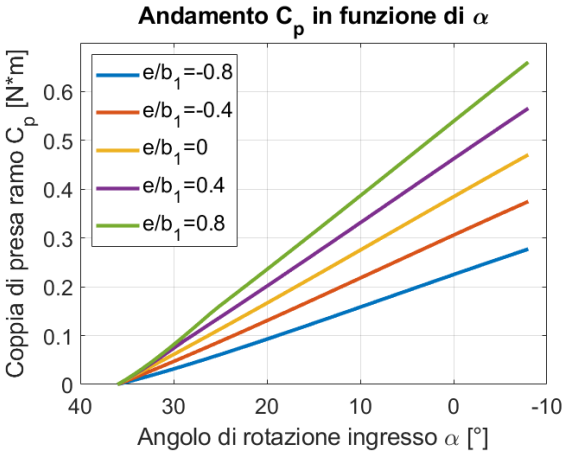


Figura 2.23 Influenza di e sulla Coppia di presa

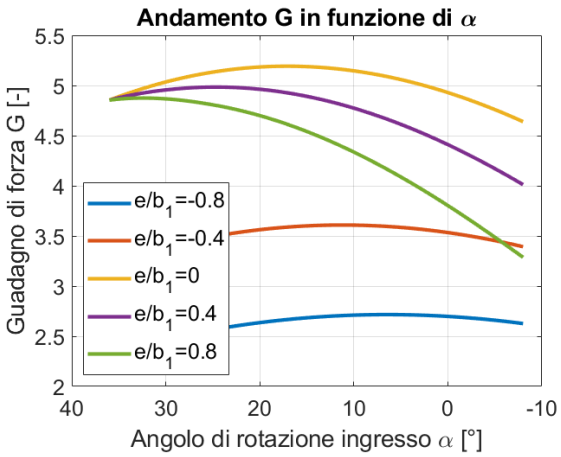


Figura 2.24 Influenza di e sul Guadagno di forza

Dai grafici possiamo concludere che il beneficio che comporta l'incremento di $\boldsymbol{e}$ è un aumento di coppia di presa, ma come abbiamo visto in precedenza, ci sono altri modi per aumentare la coppia di presa (ad esempio aumentare $\boldsymbol{a2}$ e/o K_2).

Per questo motivo si sceglie $\boldsymbol{e = 0}$, in quanto un $e \neq 0$ non comporta un beneficio così grande da giustificare l'utilizzo di una ulteriore cerniera e complicare di più il meccanismo (tenendo anche presente che con $e \neq 0$ la posizione della cerniera B, durante la fase di taglio, varierà in funzione del diametro del ramo che si va a tagliare).

2.5 Dimensionamento meccanismo

2.5.1 Configurazione con molla a trazione

Basandosi sui grafici ottenuti dall'analisi parametrica, cercando di andare a scegliere il miglior compromesso tra un ingombro non troppo eccessivo ed un buon guadagno di forza del meccanismo, sono stati scelti i seguenti rapporti:

$$Ra_1 = \frac{a_1}{b_1} = 6$$

$$Rm_1 = \frac{m_1}{b_1} = 2$$

$$Ra_2 = \frac{a_2}{b_1} = 2$$

$$Re = \frac{e}{b_1} = 0$$

Sapendo che $b1 = 20\ mm$, possiamo ricavare le seguenti dimensioni:

Tabella 7 Valori dei parametri meccanismo ad uso manuale

Parametro	Valore
b_1	20 mm
a_1	120 mm
m_1	40 mm
a_2	40 mm
e	0 mm

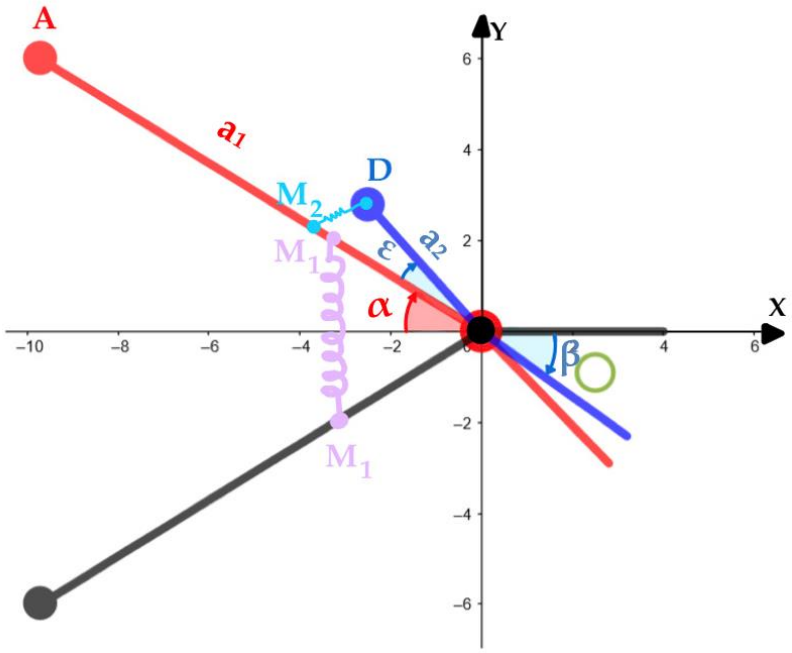


Figura 2.25 Proporzioni meccanismo in configurazione a trazione

Questo meccanismo viene denominato "a trazione" per via della molla che collega l'elemento di presa con il porta-lama, quindi il punto M_2 con D, poiché tale molla lavora in trazione. Questa configurazione comporta lo svantaggio di avere un ingombro maggiore lungo l'asse y, ma si ha una maggior flessibilità nel sostituire diversi tipi di molle a trazione, poiché per il loro ancoraggio è sufficiente un perno o una vite, mentre per quelle a compressione è necessario realizzare una sede con un diametro opportuno per ogni molla.

2.5.2 Configurazione con molla a compressione

Fino ad ora si è deciso di mostrare tutti i ragionamenti fatti sul meccanismo ad uso manuale con la molla 2 che lavora a trazione, ma tali ragionamenti valgono anche nel caso in cui, tra elemento di presa e porta-lama, si interponesse una molla che lavora a compressione. La sostituzione della molla a trazione, con una a compressione, comporta il vantaggio di

ridurre l'ingombro lungo l'asse y dell'utensile, visto che con l'introduzione di quest'ultima, il segmento $a2$ verrebbe ruotato in senso antiorario, rientrando così nel volume già occupato da porta-lama e telaio, portando così un beneficio sull'ingombro totale.

Rispetto al meccanismo con la molla a trazione, l'unica differenza è la forma e la dimensione del segmento $a2$ dell'elemento di presa, il quale verrà ruotato di un angolo di crica 40° e accorciato leggermente.

Vengono riportate solo la dimensioni utilizzate per il meccanismo con molla a compressione:

Tabella 8 Valore parametri meccanismo con molla a compressione

Parametro	Valore
b_1	20 mm
a_1	120 mm
m_1	40 mm
a_2	30 mm
e	0 mm

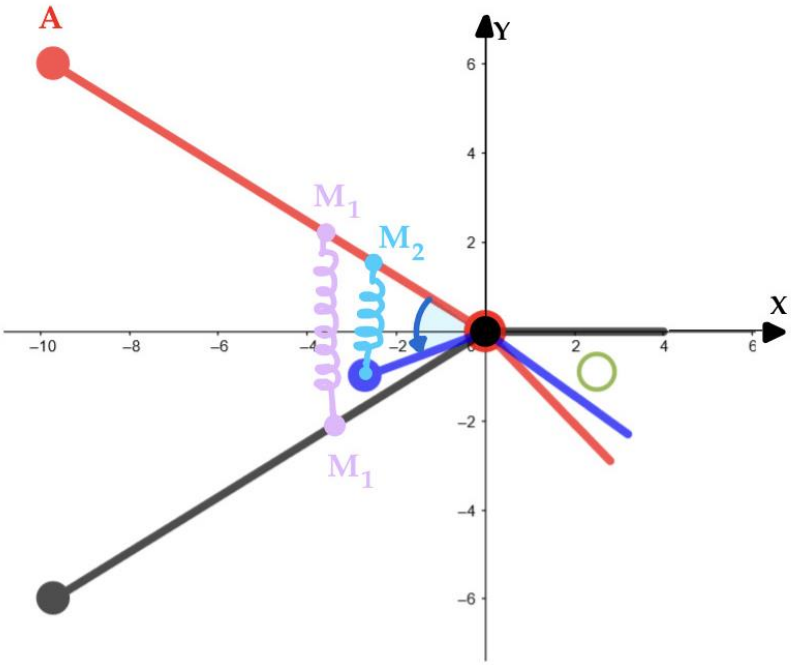


Figura 2.26 Proporzioni meccanismo in configurazione a trazione

2.6 Progettazione esecutiva

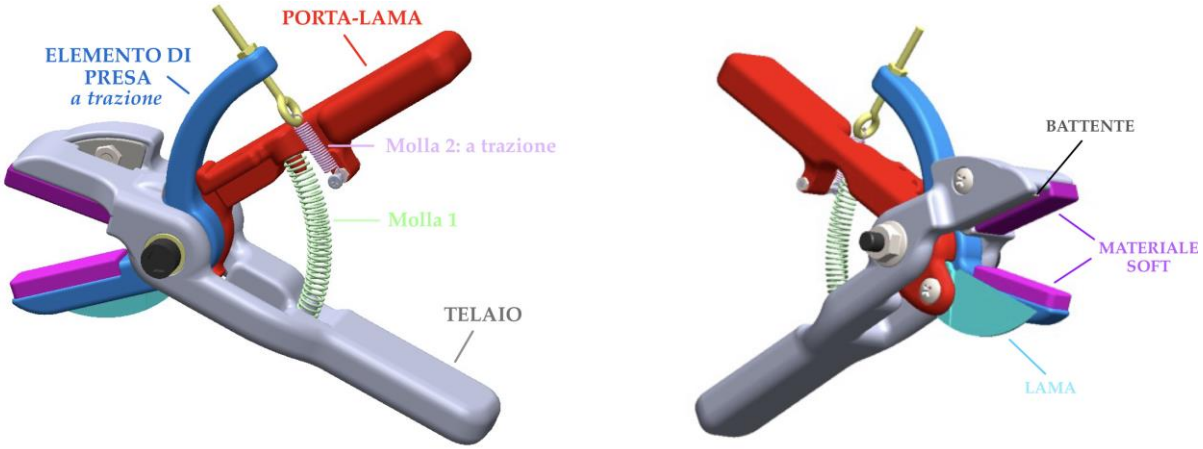
La progettazione esecutiva si è posta come obiettivo quello di ottenere un prototipo a basso costo da produrre tramite fabbricazione additiva, per verificarne l'effettiva funzionalità. Il processo di progettazione ha cercato di trovare un compromesso tra due diverse tendenze: limitare gli ingombri e le masse dei vari membri per rientrare nei limiti di peso della pinza e cercare di assicurare la resistenza meccanica dei componenti aumentando gli spessori dove necessario.

Per ridurre al minimo i componenti da stampare, nella progettazione esecutiva si è realizzato un unico porta-lama ed un unico telaio che potessero andare bene per entrambe le configurazioni (con molla *a trazione* e con molla *a compressione*), così da avere solo l'elemento di presa come componente diverso da una configurazione all'altra.

I componenti principale dell'utensile sono:

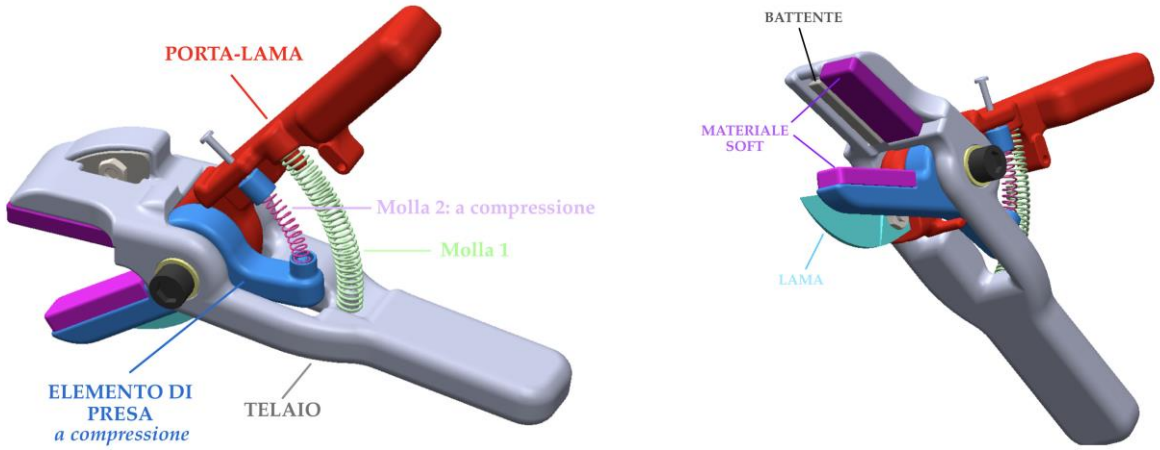
- Telaio: da una parte svolge la funzione di manico, mentre dall'altra parte svolge la funzione di battente su cui si chiude la lama e di battuta dell'elemento di presa del ramo.
- Porta-lama: è l'elemento che da una parte svolge la funzione di manico, dall'altra invece ha l'importante compito di accogliere la lama e di bloccarla nella posizione corretta grazie all'utilizzo di vite e dado.
- Elemento di presa: ha il compito di bloccare il ramo; nella parte terminale si trova il materiale soft pensato per adattarsi alle diverse dimensioni e forme dei campioni da afferrare.
- Molla 1: lavora a compressione e ha l'importante compito di fare tornare alla posizione iniziale il meccanismo una volta che si smette di agire con la forza d'ingresso.
- Molla 2: a seconda della configurazione in cui ci troviamo, può lavorare a trazione o a compressione. Oltre a fare tornare l'elemento di presa nella posizione iniziale, essa esercita la forza che determina la coppia di presa del ramo. Per questo motivo, in entrambe le configurazioni, è previsto un sistema di precarico della molla 2: per la molla a compressione si utilizza una vite che è presente sul porta-lama, mentre per quella a trazione si utilizza l'occhiello filettato che si trova sul suo elemento di presa.

In Figura 2.27 ed in Figura 2.28 è possibile osservare, rispettivamente, i complessivi del meccanismo con molla a trazione e con molla a compressione.



(a) (b)

Figura 2.27 Complessivo utensile nella configurazione con molla a trazione da due viste diverse (a) e (b)



(a) (b)

Figura 2.28 Complessivo utensile nella configurazione con molla a compressione da due viste diverse (a) e (b)

2.6.1 Telaio

È l'elemento più massiccio e da una parte svolge la funzione di manico, mentre dall'altra parte svolge la funzione di battente su cui si chiude la lama e di battuta dell'elemento di presa del ramo. Sulla sua estremità è stata creata l'apposita sede per accogliere il battente su

cui si chiuderà la lama. Il battente viene fissato al telaio tramite una vite ed un dado. Sempre all'estremità, affianco al battente, è possibile vedere il materiale soft che ha il compito di facilitare la presa di campioni con forme diverse e irregolari.

Come già detto, il telaio è lo stesso sia per la configurazione a trazione che per quella a compressione.

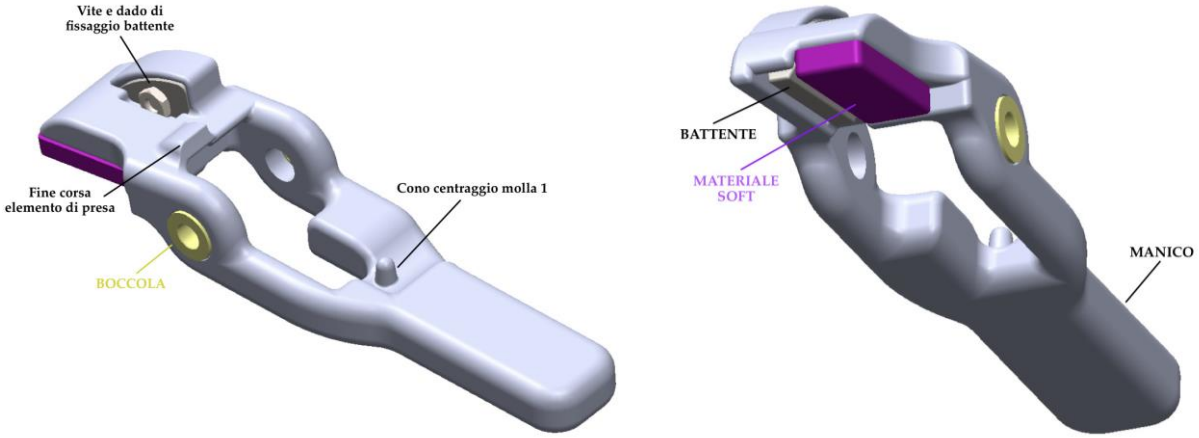


Figura 2.29 Disegno CAD del Telaio

2.6.2 Porta-lama

È il componente che svolge sia la funzione di manico, che l'importante compito di accogliere la lama e di bloccarla nella posizione corretta grazie all'utilizzo di vite e dado. Così come il telaio, visto che si è pensato di portare due soluzioni diverse dell'utensile, si è cercato di mantenere un unico porta-lama che potesse adattarsi ad entrambe le configurazioni. Dalla Figura 2.30 è possibile vedere la predisposizione per l'ancoraggio di entrambe le molle, ovvero, quella a compressione e quella a trazione. Inoltre, è possibile vedere anche la vite di precarico per la configurazione con molla a compressione. Oltre alla vite, per il precarico della molla a compressione, è stato necessario realizzare, sempre tramite fabbricazione additiva, un componente cilindrico cavo con al suo interno un cono per il centraggio della molla. Questo componente viene avvitato al fondo della vite, così quando si vuole regolare il precarico della molla è sufficiente fare ruotare la vite ed il componente traslerà assieme ad essa. È visibile un dettaglio in Figura 2.31.

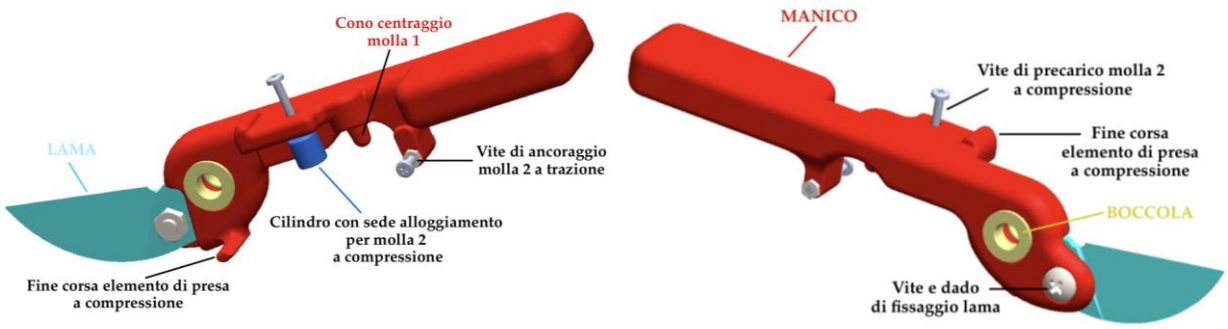


Figura 2.30 Disegno CAD del Porta-lama

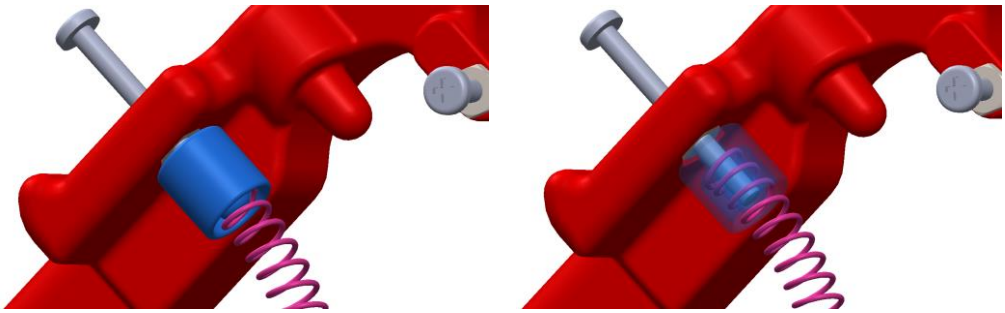
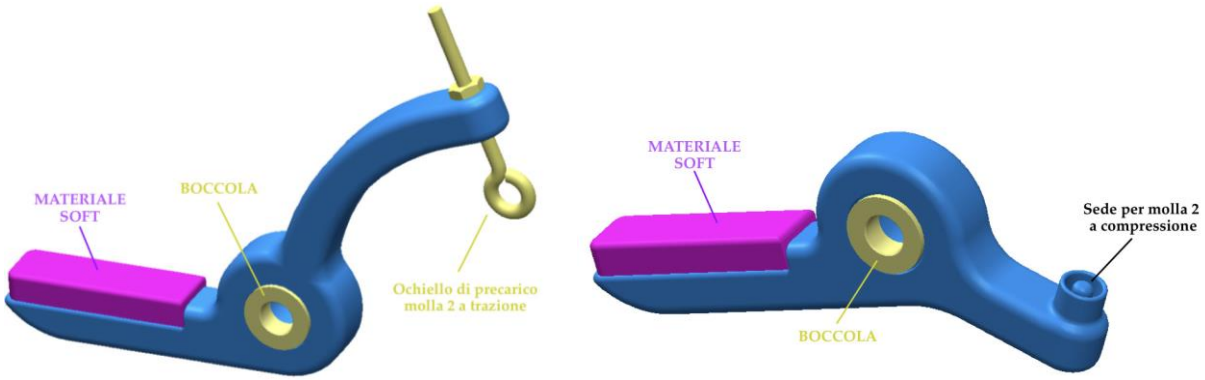


Figura 2.31 Dettaglio cilindro con sede per alloggiamento molla 2 a compressione

Il precarico della molla a trazione, invece, viene effettuato tramite l'occhiello giallo, visibile nel capitolo successivo in Figura 2.32.

2.6.3 Elemento di presa

Ha il compito di afferrare e mantenere in presa i campioni, visto che il meccanismo avrà due configurazioni possibili, avremo due elementi di presa differenti:



(a) (b)

Figura 2.32 Da sinistra a destra, disegni CAD di: a) dell'Elemento di presa per molla a trazione b) Elemento di presa per molla a compressione

La parte terminale è la stessa per entrambi e su di essa troviamo il materiale soft, per facilitare la presa e il mantenimento del ramo. Quello che cambia è l'inclinazione del braccio su cui si ancorano le molle, poiché per quello a trazione si ha un angolo positivo rispetto all'orizzontale, mentre, per quello a compressione l'angolo di inclinazione è negativo.

In Figura 2.32 (a) si nota l'occhiello filettato, dove verrà inserita una estremità della molla a trazione, grazie al quale è possibile regolare il precarico.

3 Prototipazione e sperimentazione

Terminato il progetto esecutivo, tramite l'ausilio di una stampante 3D, vengono stampati gli elementi principali del meccanismo (vedi capitolo 3.1.1) e vengono acquistati tutti i componenti commerciali necessari (vedi capitolo 3.1.2). Una volta ottenuti tutti gli elementi, è stato possibile procedere al loro assemblamento e realizzare così il primo prototipo ad uso manuale finito, per poi verificarne l'effettiva funzionalità.

Una volta validato il suo corretto funzionamento, si passerà alla vestizione costruttiva per permettere al gripper del manipolatore articolato di azionare tale utensile.

3.1 Prototipazione

3.1.1 Componenti ottenuti tramite fabbricazione additiva

Gli elementi ottenuti tramite fabbricazione additiva sono: Telaio, Porta-lama e gli elementi di presa.

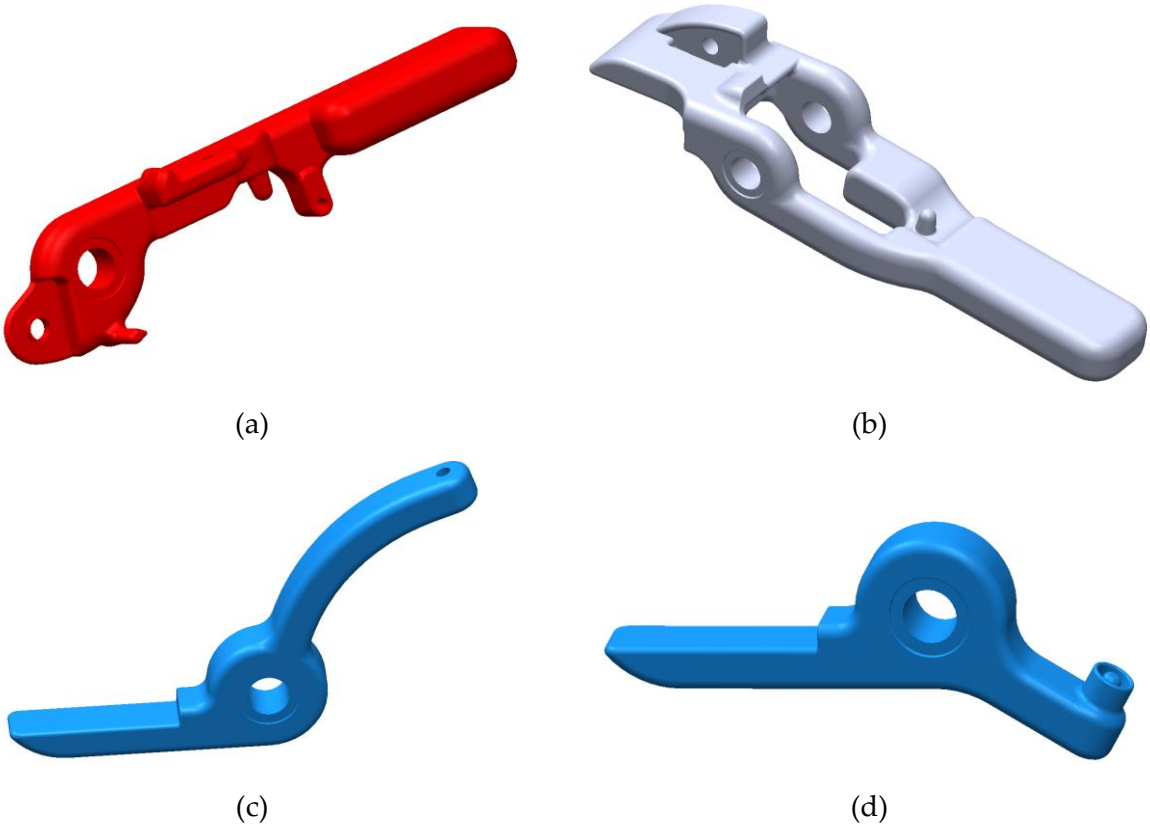


Figura 3.1 Componenti ottenuti tramite fabbricazione additiva: a) Porta-lama; b) Telaio; c) Elemento di presa a trazione; d) Elemento di presa a compressione

3.1.2 Componenti commerciali

Al fine di ridurre i costi del prototipo si è cercato di utilizzare elementi commerciali quando possibile.

Minuteria meccanica

Per i componenti meccanici ci si è appoggiati ai negozi di ferramenta di Torino e al sito RS-Online, dove sono stati acquistati i seguenti elementi:

- Dado e Vite parzialmente filettata M6x70mm: utilizzata come fulcro del meccanismo;
- Dadi e Viti M2x16mm: utilizzate per l'ancoraggio della molla 2 a trazione e per il precarico della molla 2 a compressione;
- Dadi e Viti M4x8mm: utilizzate per il fissaggio della lama e del suo battente;
- Boccole JFM-0304-05: con diametro interno di 6 mm e profondità di 5mm, sono state utilizzate nelle coppie rotoidali per andare a ridurre gli attriti.

Molle

Anche le molle sono state acquistate in un negozio di ferramenta e nel sito RS-Online. Sono state acquistate tre molle differenti:

- Molla 1: è interposta tra porta-lama e telaio, poiché essa lavora a compressione ed ha il compito di fare ritornare l'utensile nella configurazione iniziale, si è deciso di acquistare una classica molla per forbici da potatura con lunghezza libera di 54 mm.

Figura 3.2 Molla 1: per fare ritornare l'utensile in posizione iniziale

- Molla 2 a trazione: è interposta tra elemento di presa a trazione e porta-lama, ha una lunghezza libera di $22.1\,mm$ e può raggiungere un'estensione massima di $42.30\,mm$. La sua rigidezza è di $0.407\,N/mm$.

Figura 3.3 Molla 2 a trazione

- Molla 2 a compressione: è interposta tra elemento di presa a compressione e porta-lama, ha una lunghezza libera di $31\,mm$ ed una rigidezza di $0.54\,N/mm$.

Figura 3.4 Molla 2 a compressione

Lama e battente

La lama scelta per la realizzazione di questo primo prototipo è quella delle forbici da potatura LOWE 5, che è un tipo di lama affilata da entrambi i lati, che va a battere sulla contro-lama a battuta (detta anche battente), permettendo di applicare più forza sulle forbici e di ottenere un taglio dritto e preciso. Nella Figura 3.5 è possibile vedere un'immagine della lama e del suo battente.

(a) (b)

Figura 3.5 (a) Lama Lowe 5; (b) Battente della lama

Materiale soft

Il materiale soft da applicare sugli elementi di presa è stato pensato per adattarsi alle diverse dimensioni e forme dei campioni da afferrare. Per assicurare la presa, si desidera avere le parti morbide che vadano a contatto e si comprimano di un paio di millimetri.

Per questo prototipo, si è optato per materiale di facile reperimento e poco costoso: guarnizione adesiva in gomma espansa, che solitamente viene usata come paraspifferi di finestre e porte.

3.1.3 Assemblaggio prototipo ad uso manuale

Ottenuti tutti gli elementi, è possibile procedere all'assemblaggio, che andremo a suddividere in due fasi: assemblaggio dei sottoassiemi e montaggio delle parti.

Assemblaggio sottoassiemi

- Sottoassieme Telaio: a partire dal componente ottenuto tramite la stampante 3D, si procede fissando il battente, tramite la vite $M4x8mm$, ed accanto a quest'ultimo, si posiziona il materiale soft adesivo. Infine, si inseriscono le due boccole nei fori del fulcro.

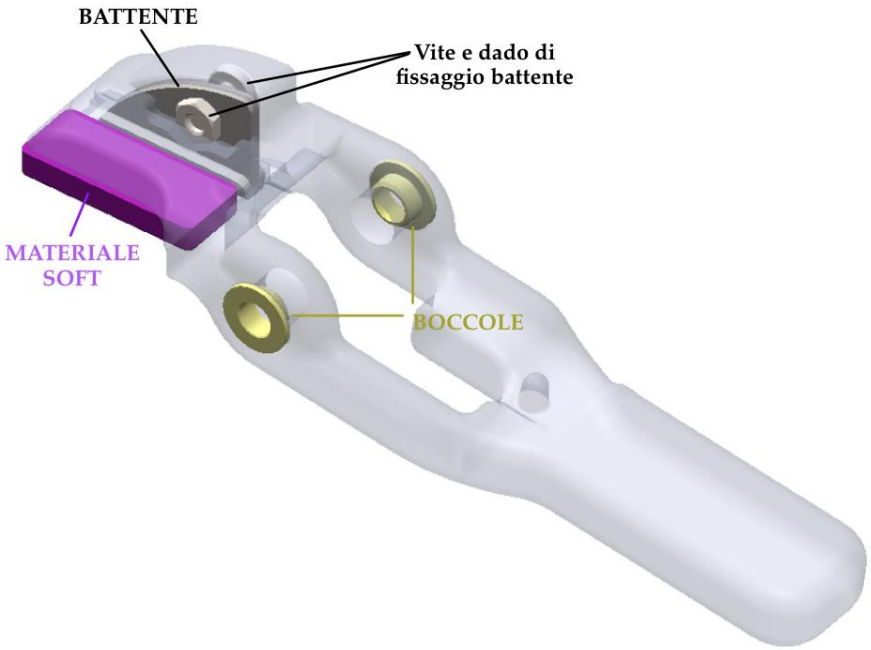


Figura 3.6 Assemblaggio sottoassieme telaio

- Sottoassieme Porta-lama: dal componente stampato 3D, si inizia andando a fissare la lama tramite la vite $M4x8mm$ ed il dado, successivamente si inseriscono le viti $M2x15mm$ e i dadi: una per l'ancoraggio della molla 2 a trazione e l'altra per il precarico della molla 2 a compressione (assieme al cilindro con sede per il suo alloggiamento). Infine, si inseriscono le due boccole nei fori del fulcro.

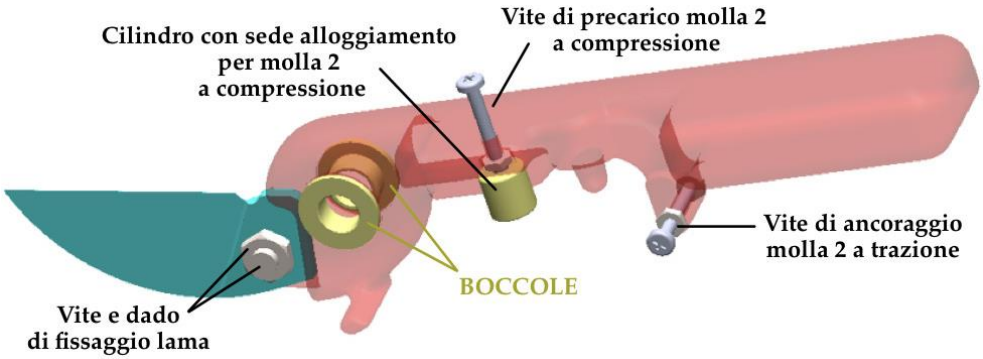


Figura 3.7 Assemblaggio sottoassieme porta-lama

- Sottoassieme Elementi di presa: per entrambi si va a porzionare il materiale soft adesivo e si inserisce la boccola (solo da un lato poiché l'altro lato è già in contatto con la boccola del porta-lama). Per l'elemento di presa a trazione invece, si prevede anche l'inserimento dell'occhiello per l'ancoraggio dell'altra estremità della molla 2 a trazione.

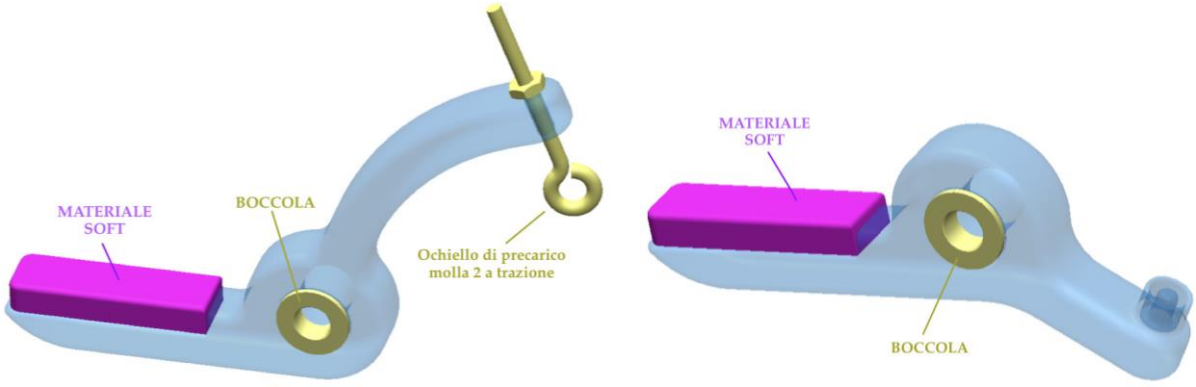


Figura 3.8 Assemblaggio sottoassiemi elementi di presa

In Figura 3.9 è possibile vedere come appaiono i sottoassiemi dei componenti reali.

Figura 3.9 Sottoassiemi reali: a) Porta-lama; b) Telaio;
c) Elemento di presa a trazione; d) Elemento di presa a compressione

Montaggio delle parti

Assemblati i sottoassiemi, è possibile procedere con il montaggio di tutte le parti:

- I sottoassiemi porta-lama ed elemento di presa (a trazione o a compressione a seconda della configurazione che si vuole ottenere) vengono fatti passare all'interno del telaio, in modo tale da allineare tutti i fori del fulcro. A questo punto è possibile inserire la vite parzialmente filettata $M6x70mm$, che diventerà il fulcro dell'utensile.
- Ora non resta che inserire la molla 1 tra porta-lama e telaio, e la molla 2 (a trazione o a compressione a seconda della configurazione che si vuole) tra porta-lama ed elemento di presa.

In Figura 3.10 e Figura 3.11 è possibile vedere il prototipo di utensile ad uso manuale finito, in entrambe le configurazioni.

Figura 3.10 Prototipo reale ad uso manuale nella configurazione con molla 2 a trazione

Figura 3.11 Prototipo reale ad uso manuale nella configurazione con molla 2 a compressione

Da queste ultime due figure si nota bene la riduzione di ingombro lungo l'asse y che comporta la configurazione con la molla 2 a compressione. Si anticipa già che, per questo motivo, si è deciso di portare avanti solo la configurazione a compressione per la fase successiva di adattamento dell'utensile al gripper Kinova.

3.2 Sperimentazione utensile ad uso manuale

Dopo aver effettuato il montaggio dei componenti ed ottenuto così il primo prototipo ad uso manuale, si è passati alla sperimentazione, andando a testare l'utensile in entrambe le configurazioni.

Dalle prove effettuate con diverse tipologie di ramo, è possibile affermare che l'utensile svolge con successo le funzioni richieste (presa, taglio e mantenimento), sia con molla 2 a trazione che con molla 2 a compressione.

Nonostante il corretto funzionamento in entrambe le configurazioni, per la fase successiva di adattamento al gripper del robot, si è scelto di portare avanti solo la configurazione con molla a compressione, poiché essa presenta un'importante riduzione di ingombro lungo l'asse y.

Per non appesantire troppo l'elaborato, si riporta solo la sequenza di immagini che mostrano il funzionamento dell'utensile in configurazione a compressione.

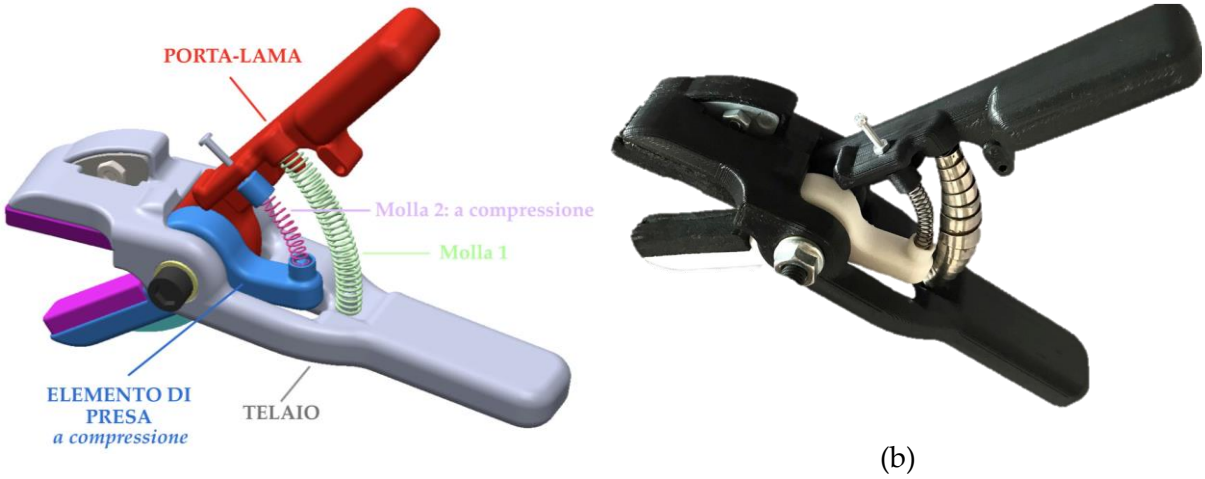


Figura 3.12 Prototipo ad uso manuale in configurazione con molla 2 a trazione:
(a) Disegno complessivo CAD; (b) Foto prototipo reale.

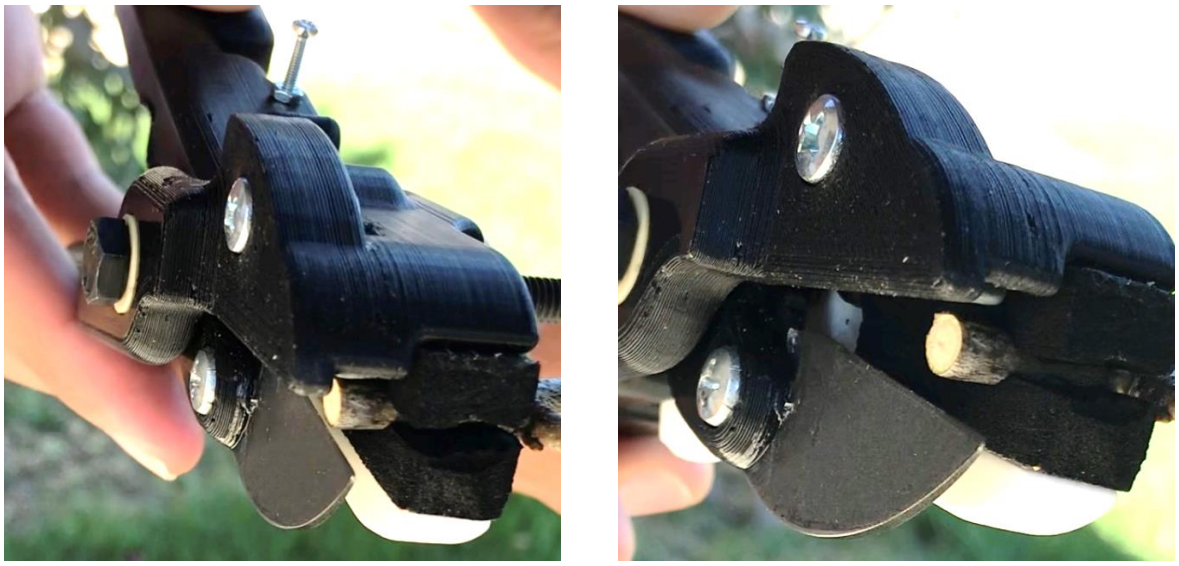


Figura 3.13 Sequenza immagini del prototipo ad uso manuale in azione

3.3 Integrazione dell'utensile sul gripper del braccio robotico

Dopo aver validato il corretto funzionamento del prototipo ad uso manuale, si procede con una vestizione costruttiva che permetta di azionare l'utensile attraverso il gripper, con l'obbiettivo di sfruttare il moto e la coppia di chiusura esercitata da quest'ultimo per compiere le operazioni di campionamento.

Pertanto, si prevede la realizzazione di un elemento di interfaccia tra le dita del gripper e l'utensile, chiamato membro d'ingresso, che ha il compito di trasferire la coppia della pinza all'utensile.

Per quanto riguarda la caratteristica di afferraggio in autonomia dell'utensile da parte del gripper, vista all'inizio nel capitolo 2, è un requisito di cui si è tenuto conto nella progettazione del membro di interfaccia, ma allo stesso tempo, su di essa sono stati realizzati delle asole per il fissaggio alle falangi tramite vite e dado, nel caso in cui la molla 1 non riesca a garantire il contatto tra falange e l'elemento d'interfaccia. Essendo questo progetto un primo prototipo, si è vuole validare la corretta esecuzione delle altre tre funzioni (presa, taglio e deposito), quindi la funzione di afferraggio in autonomia verrà sviluppata in un futuro lavoro.

3.3.1 Gripper Kinova

Il gripper sul quale bisogna adattare l'utensile è il Kinova KG-2, che presenta due gradi di libertà: ognuno associato ad una delle due falangi che compongono le due dita. In Figura 3.14 si riporta il disegno della pinza con una schematizzazione delle falangi e il sistema di riferimento solidale alla pinza adottato. Azionando il gripper le due dita si chiuderanno in

modo sincronizzato con le due falangi che si comportano come un solo corpo. Solo nel caso in cui sulla prima falange F_0G agisca una forza resistente sufficientemente elevata, allora è permesso il moto relativo in chiusura della seconda falange GH attorno alla cerniera G.

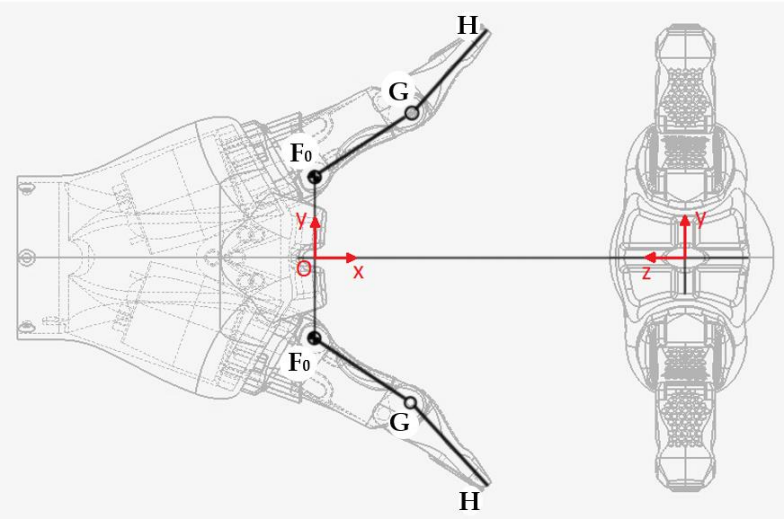


Figura 3.14 Gripper con sistema di riferimento e nomenclatura cerniere

Questa dipendenza tra i due gradi di libertà ha diretto la progettazione a sfruttare il secondo grado di libertà della pinza (il movimento della falangetta) per bloccare l'utensile lungo l'asse x al suo azionamento: quando il gripper inizia a chiudere, la falange risente della forza esercitata dalla molla 1 tra porta-lama e telaio, facendo intervenire la falangetta che, ruotando attorno alla cerniera G, andrà a bloccare l'utensile evitando che esso scivoli via lungo la direzione x durante il suo utilizzo.

3.3.2 Schema funzionale gripper con utensile

In Figura 3.15 viene rappresentato lo schema funzionale dell'utensile adattato al gripper. È possibile vedere che, in aggiunta all'utensile, si prevede l'inserimento di due membri di interfaccia, che hanno il compito di trasferire la coppia della pinza all'utensile, tramite una coppia rotoidale (A), necessaria per collegare l'interfaccia all'utensile.

Il punto A risulta fisso rispetto alla cerniera F_0, i cui parametri caratteristici individuati sono la distanza da tale cerniera $\boldsymbol{r}$ e l'angolo $\boldsymbol{\tau}$ che forma con il segmento F_0G. L'angolo $\boldsymbol{\tau}$ viene definito positivo in senso antiorario dal link di riferimento, andando a posizionare la

coppia cinematica *A* all'esterno del palmo, e negativo nel senso opposto, quando *A* si posiziona all'interno del palmo.

Dal precedente lavoro di tesi, è stato possibile verificare che angoli τ positivi, che pongono la cerniera *A* all'esterno del palmo, riducono la corsa del meccanismo di taglio, spostano il fulcro dell'utensile più vicino all'origine, facendogli compiere uno spostamento maggiore, ma producono un guadagno inferiore; angoli τ negativi invece permettono di ottenere una rotazione maggiore con un fulcro che si allontana dal palmo ma che si sposta meno, mentre il guadagno presenta un importante aumento.

Per questo motivo, per effettuare diverse prove con lo stesso meccanismo, sul membro sono stati realizzati tre punti diversi su cui accoppiare l'utensile per vedere come influisce la variazione della posizione di F (capitolo successivo, Figura 3.16). Tutti i punti si trovano con un angolo τ negativo poiché comporta un guadagno di coppia maggiore.

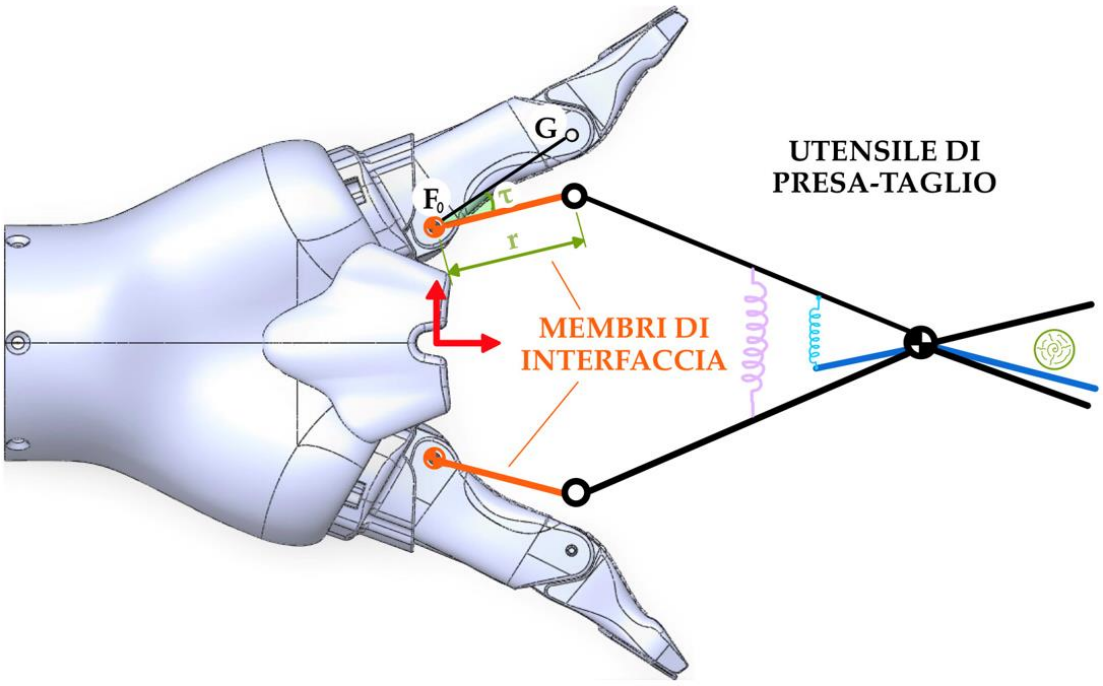


Figura 3.15 Schema funzionale gripper con utensile

3.3.3 Membro di interfaccia

Il membro d'interfaccia è un ulteriore elemento da inserire tra il gripper e l'utensile che ha il compito di trasmettere la coppia esercitata dalla pinza all'utensile. Esso sarà lo stesso per entrambe le dita.

Analizzando la forma caratteristica delle dita del gripper, si è previsto di creare, sull'interfaccia, una superficie appoggio per la falange che ne ricopia il profilo, in modo da facilitare il posizionamento tra le superfici di contatto nell'accoppiamento.

Inoltre, si è scelto di modellizzare tale membro di interfaccia, o di ingresso, in modo che ruoti coassialmente alle dita del gripper. Questa accortezza semplifica la progettazione portando a far corrispondere la rotazione del corpo di ingresso con quello delle dita della pinza. Risulta, quindi, necessario che le dita e i membri d'interfaccia si muovano come un unico corpo.

Dalla Figura 3.16, il membro presenta un profilo ad "U": oltre alla superficie su cui appoggia la falange, sono presenti delle pareti laterali, che hanno il compito di evitare che l'utensile si muova troppo durante le operazioni, o addirittura di cadere dal gripper.

Inoltre, sulle pareti laterali è possibile osservare la presenza di due asole, create per poter inserire una vite con dado e bloccare così il membro alla falange, facendoli diventare un corpo unico, nel caso in cui la sola forza della molla 1 non fosse sufficiente a far mantenere il contatto tra il dito ed il membro d'interfaccia durante l'azionamento. In questo caso però, si andrebbe a perdere la caratteristica di afferraggio in autonomia dell'utensile da parte della pinza, poiché è necessario l'intervento dell'uomo per inserire vite e dado.

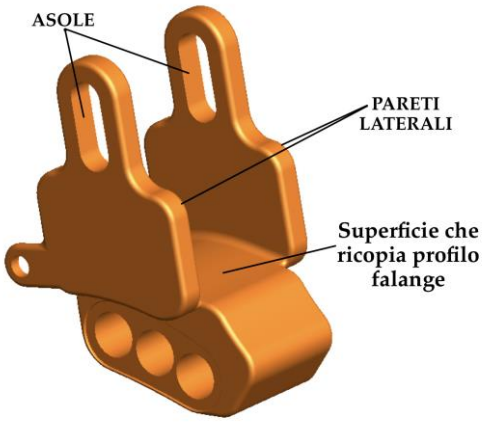


Figura 3.16 Membro di interfaccia

Dalla Figura 3.17 invece, è possibile osservare che sul membro è stato creato un foro di centraggio che, insieme alla superficie di appoggio della falange, ha come obbiettivo quello di facilitare il suo corretto posizionamento, andandolo ad allineare alla cerniera F_0 del gripper durante l'assemblaggio. Inoltre, per poter vedere l'influenza della posizione della cerniera A, come già scritto in precedenza, sono stati realizzati tre diversi fori, posizionati rispettivamente:

Foro	r	τ
1	$37\ mm$	$-31{,}29°$
2	$27{,}9\ mm$	$-34{,}39°$
3	$19{,}24\ mm$	$-43{,}36°$

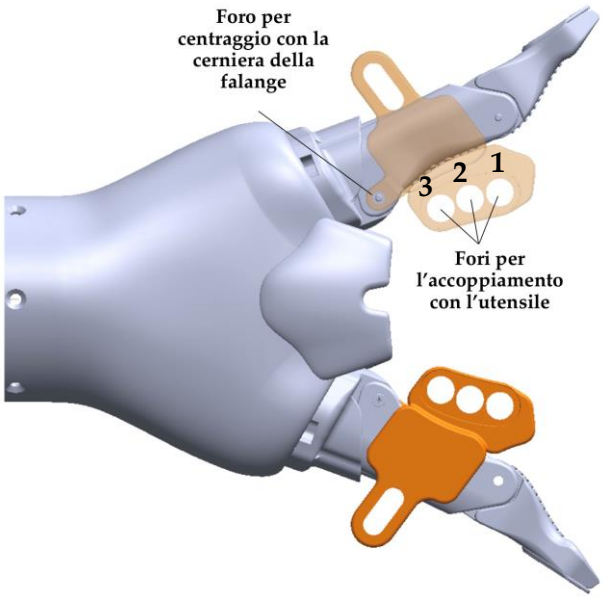
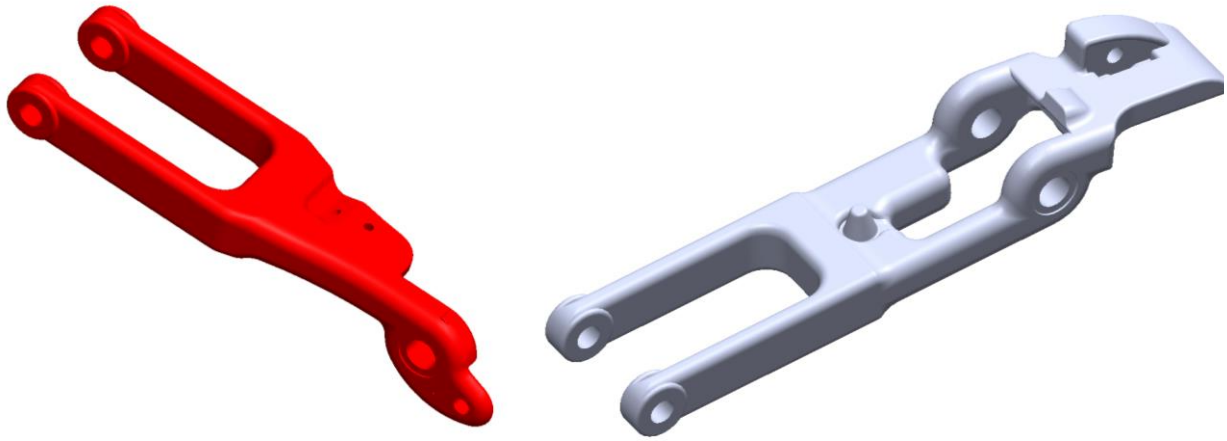


Figura 3.17 Membro di interfaccia posizionato sul gripper

3.3.4 Modifiche effettuate su porta-lama e telaio

Per poter accoppiare il membro d'interfaccia, bisogna andare ad effettuare una piccola modifica sulla parte terminale dei manici di porta-lama e telaio, andando ad inserire un foro per l'accoppiamento.

In Figura 3.18 è possibile vedere che per entrambi, oltre all'introduzione del foro, il manico è aperto per permettere alla falangetta di chiudersi e quindi andare a bloccare il movimento lungi l'asse x del meccanismo. Un altro motivo di quest'apertura è che la coppia del gripper verrebbe trasmessa dalla falangetta che interverrebbe prima della falange, e poiché essa genera una forza minore, l'utensile non riuscirebbe ad ottenere la forza sufficiente per riuscire a lavorare correttamente.



(a) (b)

Figura 3.18 Porta-lama (a) e Telaio (b) modificati per l'adattamento al gripper

3.3.5 Assieme dell'utensile sul gripper Kinova

Ottenuti tutti gli elementi, è possibile procedere all'assemblaggio, che per l'utensile è lo stesso visto nel capitolo 3.1.3. Dopo aver assemblato l'utensile, si procede andando ad inserire sul membro d'ingresso le boccole in uno dei tre fori sul quale si vuole inserire la cerniera *A* di accoppiamento. Infine, è sufficiente allineare i fori con le boccole dei membri di interfaccia con i fori presenti sui manici di porta-lama e telaio ed inserire così dado e vite per il fissaggio. In Figura 3.19 è possibile vedere come appare l'accoppiamento tra l'utensile e i membri.

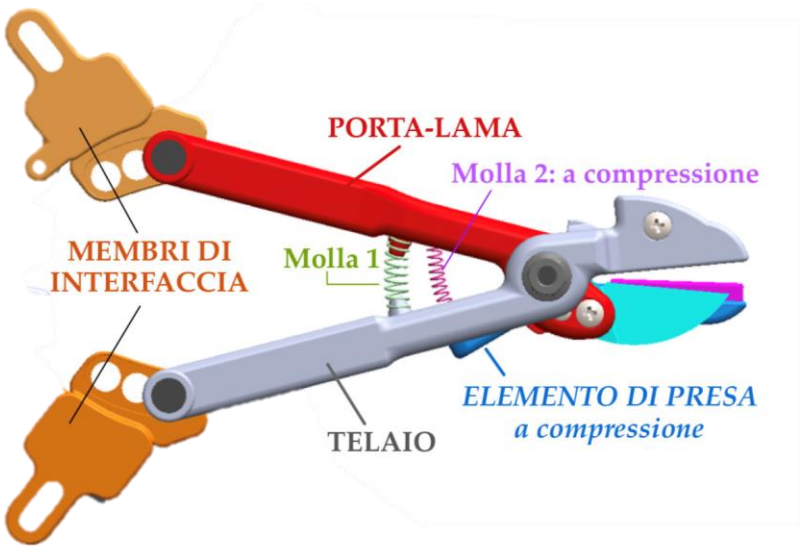


Figura 3.19 Assieme utensile e membri d'interfaccia

Una volta assemblati sull'utensile i membri d'interfaccia, è sufficiente andare a posizionare questi ultimi sulle falangi del gripper, utilizzando come riferimenti la superfice che ricopia il profilo e il foro di centraggio, che deve essere concentrico alla cerniera F della pinza.

Qualora la forza esercitata dalla molla 1 non riuscisse a garantire il contatto tra falangi e membri d'interfaccia, è possibile andare ad inserire vite e dado nelle asole delle pareti dell'interfaccia per renderle solidali al gripper.

Infine, dopo il corretto allineamento, si inseriscono dadi e viti nelle due asole delle pareti dei membri d'interfaccia per garantire che siano solidali al gripper (Figura 3.20).

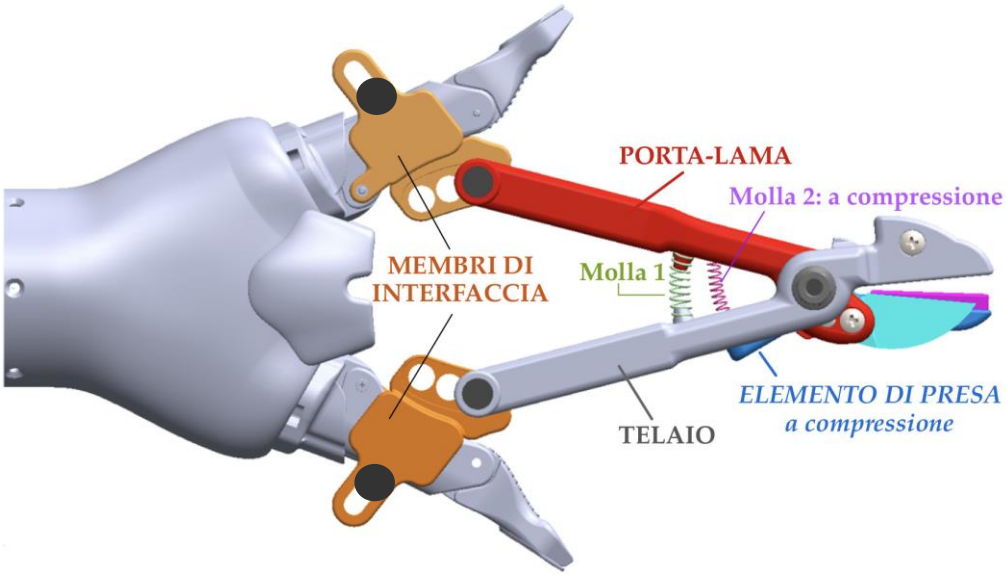


Figura 3.20 Assieme dell'utensile sul gripper Kinova completamente aperto

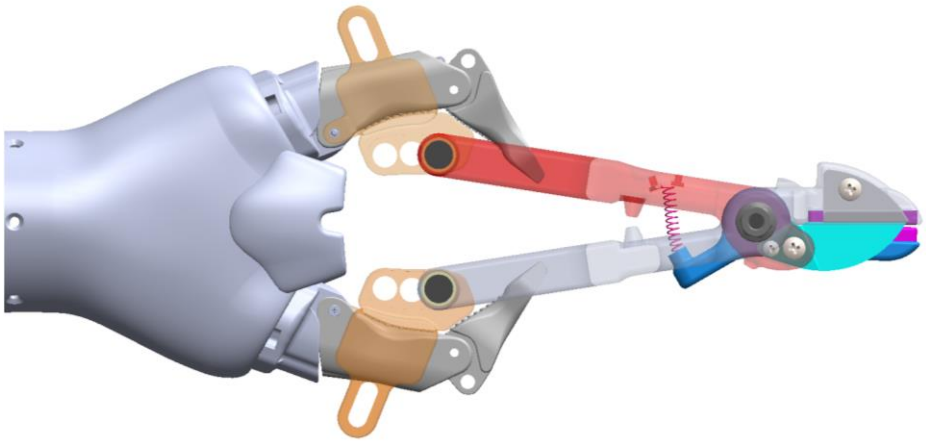


Figura 3.21 Assieme dell'utensile sul gripper Kinova completamente chiuso

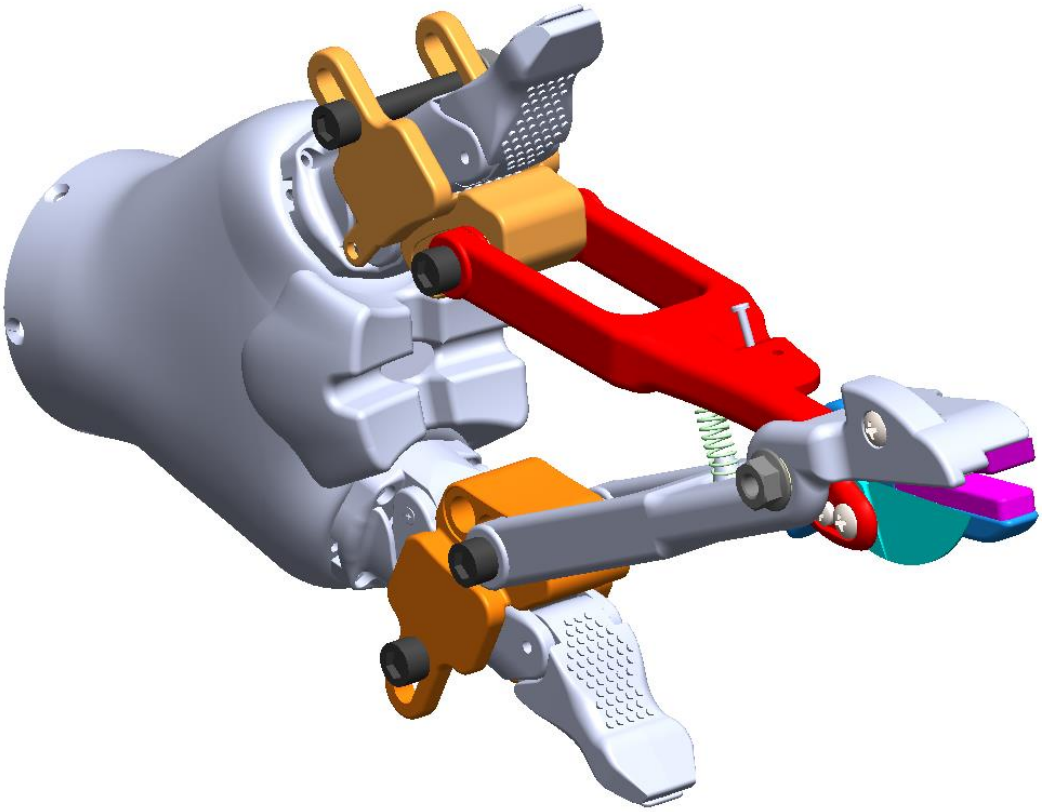


Figura 3.22 Altra vista dell'assieme utensile sul gripper Kinova completamente aperto

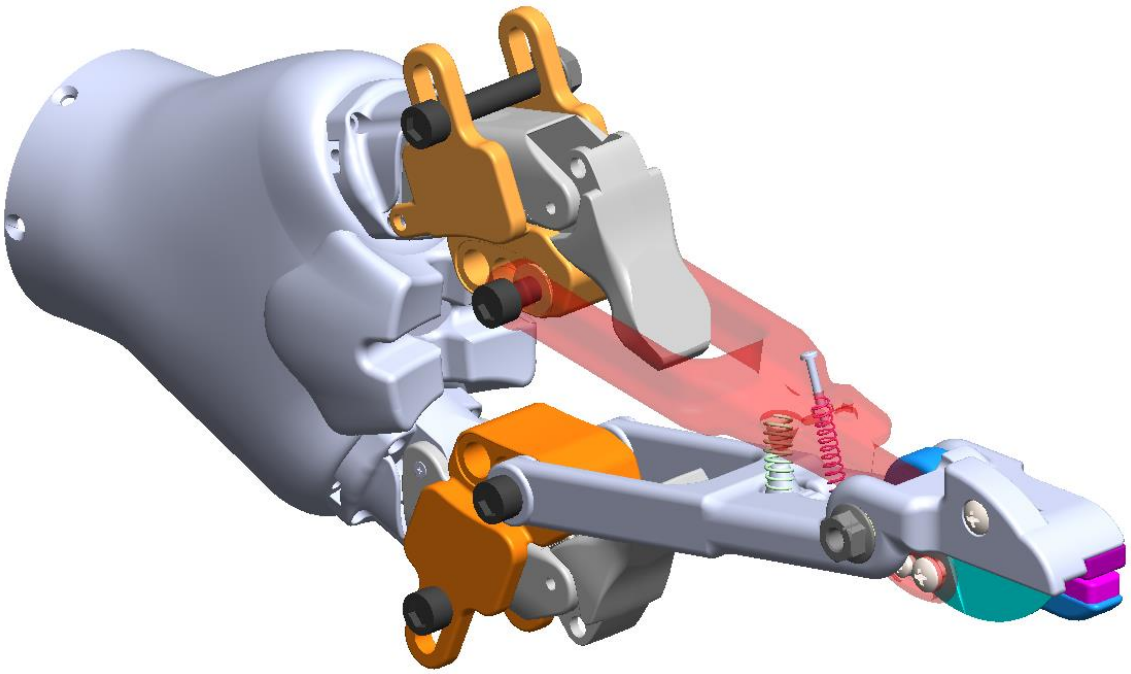


Figura 3.23 Altra vista dell'assieme utensile sul gripper Kinova completamente chiuso

3.4 Sperimentazione utensile integrato sul gripper del braccio robotico

Dopo aver accoppiato l'utensile all'elemento di interfaccia e dopo il montaggio di quest'ultimo sulle dita del gripper, il tutto apparirà come in Figura 3.24.

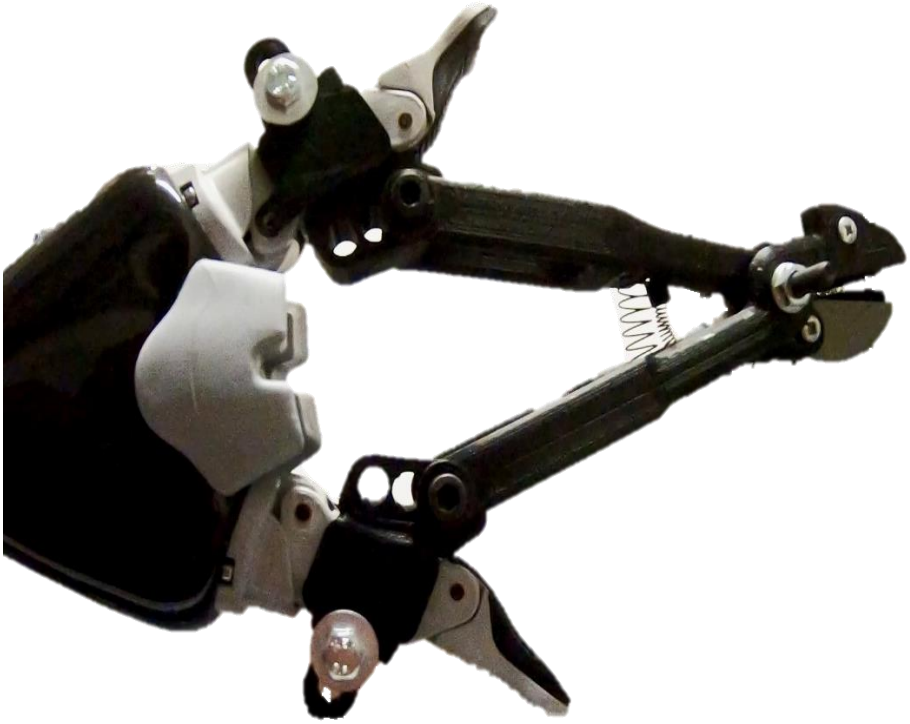
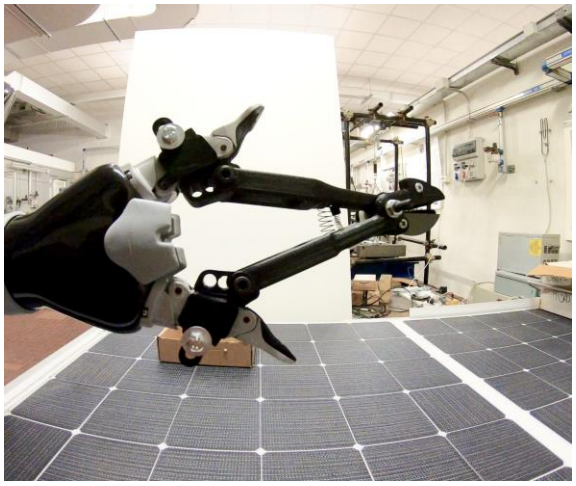
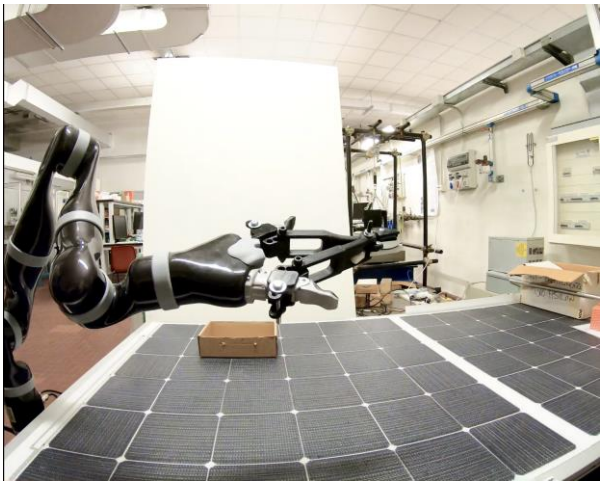
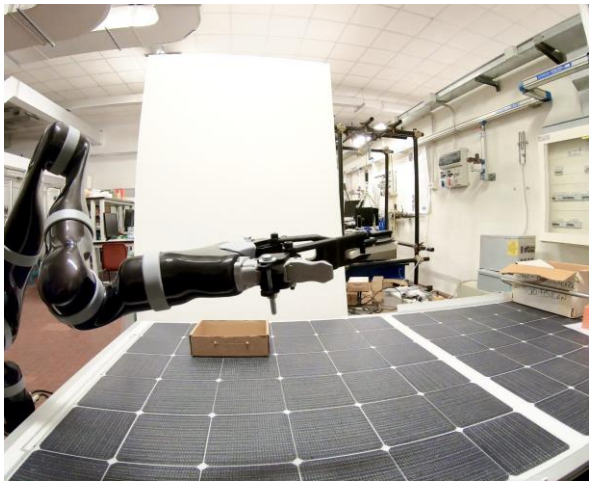
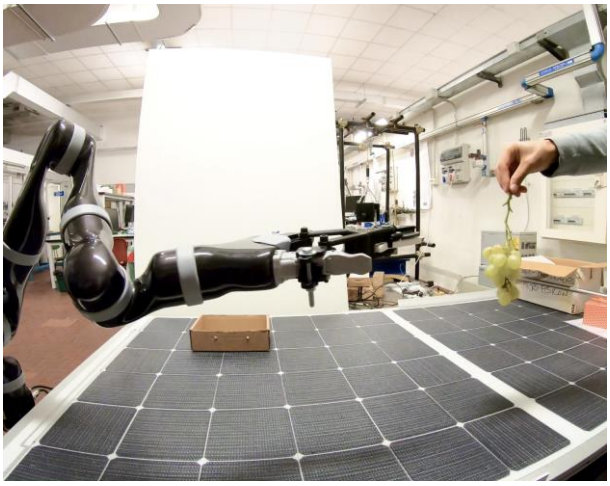
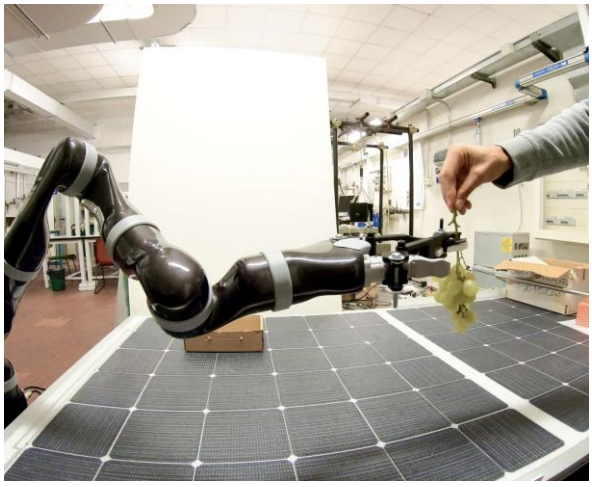
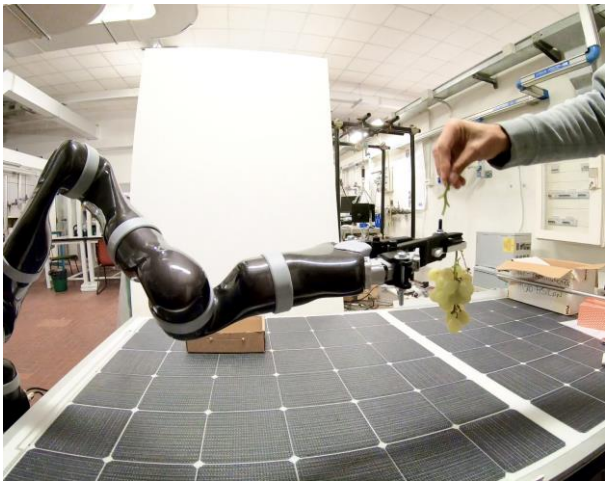


Figura 3.24 Utensile montato sul gripper del robot

Per verificare che l'utensile integrato sul gripper del robot svolga correttamente le funzioni per il quel era stato progettato, sono state eseguite delle prove andando a simulare il taglio di un grappolo d'uva. Come è possibile vedere dalle immagini di Figura 3.25, che rappresentano il funzionamento, questo primo prototipo di utensile presa-taglio proposto svolge correttamente le funzioni per le quali è stato progettato, sfruttando come unico input il moto e la coppia prodotti dalla pinza Kinova KG-2.

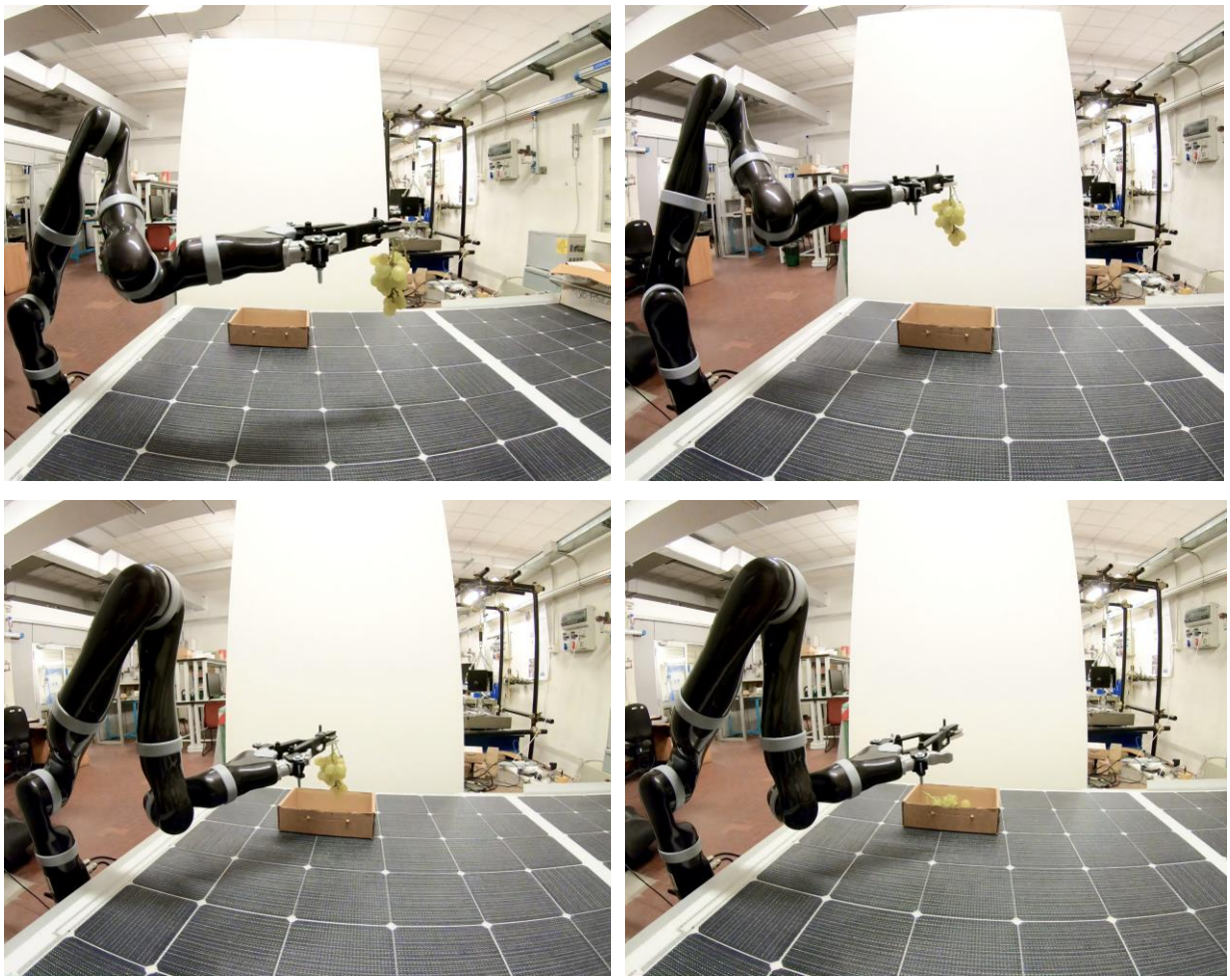


Figura 3.25 Sequenza di foto che illustrano il funzionamento dell'utensile sul gripper

4 Conclusioni

In merito allo sviluppo della robotica di servizio per l'agricoltura di precisione, in questa tesi è stato realizzato un prototipo di utensile di presa-taglio adattato al gripper del braccio robotico del rover Agri.q, con l'obbiettivo di automatizzare le operazioni di raccolta di colture, che normalmente sono svolte dagli agricoltori. A partire dalle normali mansioni svolte dall'uomo durante la raccolta e la potatura, sono stati definiti i requisiti che il meccanismo deve soddisfare per lavorare correttamente, ovvero: la presa, il taglio e il mantenimento del campione fino al suo deposito nell'apposito contenitore.

Inizialmente, è stato realizzato un primo prototipo ad uso manuale a basso costo, ottenuto tramite fabbricazione additiva, per andare a validare attraverso prove sperimentali il suo corretto funzionamento. Dopo diverse prove effettuate con successo, il progetto è stato "congelato", per andare successivamente a sviluppare una vestizione costruttiva che permettesse di adattare questo utensile, ad uso manuale, sulla pinza Kinova del manipolatore articolato.

Nella fase di adattamento, sono state riviste alcune geometrie ed è stato aggiunto un elemento di interfaccia che ha il compito di collegare l'utensile al gripper. In seguito alla progettazione esecutiva di tutti gli elementi necessari, si è ottenuto, sempre tramite fabbricazione additiva, un secondo prototipo, questa volta, però, da integrare sul gripper e farlo azionare dalla coppia generata da quest'ultimo. Al fine di validare il tutto, sono state eseguite delle prove andando a simulare la raccolta di grappoli d'uva tramite l'utilizzo del prototipo integrato sul gripper del robot e i risultati prodotti sono stati soddisfacenti poiché la pinza è stata in grado di: afferrare il ramo del grappolo, tagliarlo e mantenerlo fino al suo rilascio nel contenitore; quindi, tutte le operazioni richieste sono state eseguite correttamente.

Questo lavoro di tesi ha portato alla realizzazione di due prototipi, uno ad uso manuale che può essere utilizzato per svolgere operazioni di potatura o raccolta tramite l'utilizzo di una sola mano, l'altro da integrare sul gripper Kinova per automatizzare tali operazioni nell'ottica dell'agricoltura di precisione. Uno dei punti di forza di questo utensile è il fatto che, a partire da un unico input di forza, è possibile svolgere la duplice funzione di afferrare e tagliare il campione dalla pianta.

Tra i principali sviluppi futuri, sicuramente si può prevedere l'introduzione di diversi sensori:

- Sensori di visione: che permetta di osservare la zona di lavoro dell'utensile e, tramite specifici algoritmi, riconoscere ed individuare i campioni da raccogliere

- Sensori di temperatura e umidità: per riconoscere le condizioni ambientali in cui viene effettuata la raccolta di campioni.

- Sensore di forza: da posizionare sulla superficie di appoggio tra gripper ed elemento di interfaccia, per misurare la forza di chiusura necessaria per separare il campione dalla pianta.

5 Bibliografia e Sitografia

[1] Alexandratos, N. and J. Bruinsma. 2012. *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision.* ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO

[2] Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, https://unric.org/it/agenda-2030/

[3] Independent Group of Scientists appointed by the Secretary-General, Global Sustainable Development Report 2019: The Future is Now – Science for Achieving Sustainable Development, (United Nations, New York, 2019).

[4] European Parliament, Directorate-General for Parliamentary Research Services, Daheim, C., Poppe, K., Schrijver, R., L'agricoltura di precisione e il futuro dell'agricoltura in Europa: studio prospettico scientifico, European Parliament, 2019

[5] Ferran Roure, G. M. (2017). GRAPE: Ground Robot for vineyArd. ROBOT 2017: Third Iberian Robotics Conference, 249-260. doi:10.1007/978-3-319-70833-1_21

[6] *Wagening University & research: https://www.wur.nl/en/project/sweeper-the-sweet-pepper-harvesting-robot.htm*

[7] Boaz Arad, J. B.-S. (2020). Development of a sweet pepper harvesting robot. (J. B.-S. - Boaz Arad,A cura di) *Journal of Field Robotics*, 13. doi:10.1002/rob.21937;

[8] D. Sepúlveda, R. Fernández, E. Navas, M. Armada and P. González-De-Santos, "Robotic Aubergine Harvesting Using Dual-Arm Manipulation," in IEEE Access, vol. 8, pp. 121889-121904, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3006919.

[9] Quaglia G., Visconte C., Carbonari L., Botta A., Cavallone P. (2020) Agri.q: A Sustainable Rover for Precision Agriculture. In: Visa I., Duta A. (eds) Solar Energy Conversion in Communities. Springer Proceedings in Energy. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55757-7_6

[10] Manuale d'uso e manutenzione Kinova Gen2 7 DoF. (s.d.). Gen2 7 DoF User Guide. Tratto da https://www.kinovarobotics.com/en/resources/gen2-technical-resources;

[11] Fang Yuan, Liang, Jia-Hong; Fu, Yue-Wen; Xu, Han-Cheng; Ma, Ke. (2015). A hybrid sampling strategy with optimized Probabilistic Roadmap Method. *12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2298-2302.

[12] Patrick Beeson and Barrett Ames, . (2015). TRAC-IK: An Open-Source Library for. *15th International Conference on Humanoid Robots*.;

[13] Marco Recanatesi, Titolo: *"Progettazione di un utensile di taglio azionato da braccio robotico per operazioni di campionamento di colture"* [Tesi di Laure Magistrale]. Torino: Politecnico di Torino, 2021

[14] Pinza Kinova KG-2, Guida all'utente:

https://www.kinovarobotics.com/sites/default/files/AS-GR-KG2-KG3-UG-INT-EN%202018041.2%20%28KINOVA%E2%84%A2%20Gripper%20Series%20user%20guide%29_1.pdf

[15] Pinza Kinova KG-2, Specifiche tecniche:

https://www.kinovarobotics.com/sites/default/files/AS-GR-KG2-KG3-SP-INT-EN%20201804-1.2%20%28KINOVA%E2%84%A2%20Gripper%20series%20KG-2%20KG-3%20Specifications%29.pdf