

## Progetto **IR - Industrial Robotics**

*Progetto di Ricerca & Sviluppo  
"IR - Industrial Robotics" finalizzato all'analisi del panorama  
tecnologico e relativa adozione in ambito industriale, con  
riferimento alla robotica avanzata  
come strumento per favorire l'automazione nel  
paradigma della digital transformation*

# **Sensorizzazione pinze per presa oggetti altamente deformabili**

## INTRODUZIONE

L'obiettivo di raggiungere una "presa universale" attraverso la quale molti oggetti possono essere maneggiati con un input di controllo minimo è al centro di molte ricerche a causa di potenziali applicazioni ad alto impatto che vanno dall'imballaggio al riciclaggio nell'industria. Tuttavia, molte delle pinze sviluppate soffrono di capacità di rilevamento limitate che possono impedire la consegna di oggetti pesanti e voluminosi e anche di oggetti leggeri e delicati che richiedono un controllo preciso durante la presa. La sensorizzazione di tali pinze è spesso difficile a causa delle superfici altamente deformabili.

Nel presente progetto, analizziamo un nuovo approccio di rilevamento che utilizza camere d'aria in lattice altamente flessibile. Misurando i cambiamenti nella pressione dell'aria, è possibile misurare la forza normale e la deformazione longitudinale. Questi sensori sono integrati in una pinza "Magic Ball" per fornire un rilevamento sia tattile che propriocettivo.

I sensori mostrano sensibilità e ripetibilità ragionevoli, sono durevoli ed economici e possono essere facilmente integrati nella pinza senza influire sulle prestazioni. Quando i sensori vengono utilizzati per la classificazione, consentono l'identificazione di 10 oggetti con una precisione superiore al 90% e consentono anche il rilevamento del guasto attraverso il rilevamento dello slittamento. È stato sviluppato un algoritmo di controllo che utilizza il feedback del sensore per estendere le capacità della pinza per includere una presa sia delicata che forte.



## ANALISI SCENARIO

In risposta alla domanda di tecnologie di presa per uso generale, sono stati creati molti nuovi approcci alle pinze robotiche morbide "universali". Lo scopo di tali pinze è di consentire a un'ampia varietà di oggetti essere preso con un input di controllo minimo, spesso utilizzando materiali conformi e strutture continue del corpo. Per ottenere un'elevata adattabilità, molte di queste pinze divergono dai tradizionali design multi-dita o antropomorfi, ma hanno strutture del corpo continue. Queste pinze consentono di afferrare molti oggetti che mostrano variazioni significative di dimensioni, peso e fattore di forma. Tuttavia, la controllabilità è impegnativa in quanto è difficile determinare lo stato o le interazioni ambientali di tali pinze. Ciò può limitare la gamma di oggetti che possono essere manipolati e la capacità di eseguire complesse interazioni ambientali. Gli approcci alla presa universale includono la "pinza universale" che utilizza l'inzeppamento di materiali granulari, pinze che sfruttano le proprietà adesive dei materiali e un approccio che utilizza un meccanismo a sfera magica. L'ampia gamma di oggetti che possono essere manipolati da queste pinze e la semplicità del controllo rende queste pinze molto promettenti per le sfide di manipolazione come imballaggio della spesa o pick and place.

Tuttavia, ci sono approcci limitati alla sensorizzazione della superficie di queste pinze per fornire sia il rilevamento della forza che la stima dello stato o della forma propriocettiva. Nonostante gli ampi sforzi di ricerca sulle tecnologie di rilevamento morbido che vanno dai sensori piezoresistivi, capacitivi o ionici,



esistono limitazioni fondamentali con l'integrazione limitata in tali pinze. Molti non hanno la deformabilità e la conformabilità per essere applicati alle strutture del corpo continuo, mostrano una scarsa ripetibilità o richiedono processi di fabbricazione complessi e altamente personalizzati. I precedenti tentativi di rilevare le pinze del corpo continuo includono l'uso di fili di materiale conduttivo per creare una rete sulla superficie di una pinza, tuttavia questo era altamente soggetto a danni. In alternativa è possibile utilizzare celle di carico per rilevare la retroazione della forza, tuttavia ciò fornisce solo informazioni limitate. Sono necessarie nuove tecnologie e approcci per la sensorizzazione di pinze morbide per corpo continuo. La pinza a sfera magica è una nuova pinza universale costruita da una morbida struttura origami che è avvolta da una morbida pelle. Quando viene applicato un vuoto, la pinza si adatta alla forma dell'oggetto, fornendo un'elevata forza di tenuta. La struttura rende questa pinza particolarmente difficile da sensorizzare poiché la pelle deve rimanere altamente flessibile e i sensori non devono limitare le interazioni con gli oggetti.



Per superare tali sfide, questo lavoro introduce un nuovo approccio che utilizza sensori a vescica morbida con trasduttori di pressione dell'aria per creare sensori a basso profilo e durevoli. Utilizzando questi sensori è dimostrato che è possibile rilevare il cambiamento di forma della pinza, e anche la forza di contatto tra la pinza e gli oggetti. I sensori possono essere posizionati sulla superficie del corpo continuo della pinza senza influenzare le prestazioni di presa, mostrano una bassa deriva e variando l'implementazione possono essere utilizzati sia per il rilevamento tattile che per il rilevamento propriocettivo della pinza. Quando vengono testati su una serie di articoli standard, i sensori mostrano la capacità di rilevare le dimensioni degli oggetti e di classificarli correttamente. I sensori consentono anche di rilevare lo scivolamento, aiutando con il rilevamento e il ripristino dei guasti. Implementando semplici approcci di controllo che utilizzano il feedback sensoriale, viene analizzato come la pinza possa essere utilizzata per eseguire una presa delicata e ad alta forza. Utilizzando il controllo a circuito chiuso, la pinza può essere utilizzata per manipolare singole patatine senza danni, pur avendo la capacità di rilevare e manipolare oggetti pesanti come bottiglie o scatole.

Questo progetto fornisce una serie di contributi, tra i quali:

- Un nuovo metodo di sviluppo per sensori di pressione dell'aria basati su vesciche che sono a basso costo, rapidi da montare e mostrano durata e ripetibilità;

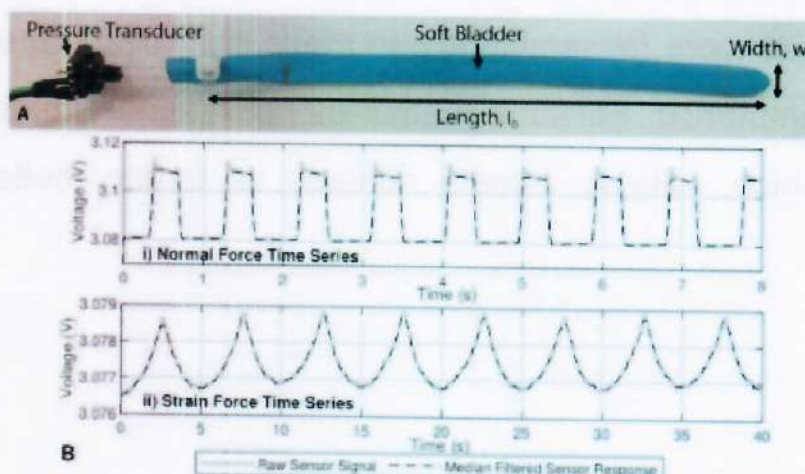


- Un nuovo metodo per integrare fisicamente i sensori in una pinza "sfera magica" del corpo continuo, che consente alle informazioni sensoriali di aiutare con la classificazione degli oggetti e il rilevamento dello scivolamento;
- Un algoritmo di controllo per la consegna di oggetti delicati utilizzando il feedback sensoriale;
- Prova sperimentale delle capacità della pinza della sfera magica di ottenere una presa delicata e ad alta forza utilizzando le informazioni sensoriali.

In questo documento i sensori vengono prima modellati e caratterizzati. Viene quindi mostrata la configurazione sperimentale e l'integrazione dei sensori, seguita dai risultati. Il documento si conclude con una discussione, identificando come questo progetto potrebbe essere ulteriormente esteso.

## METODOLOGIA DI SENSORIZZAZIONE

Il sensore di pressione dell'aria è assemblato da una camera d'aria in lattice, in questo caso un palloncino in lattice, e un trasduttore di pressione. Un sistema ermetico viene formato tra la camera d'aria e il tubo flessibile morbido inserendo il tubo per un centimetro nel tubo e sigillandolo con una fascetta. Il tubo flessibile viene quindi collegato a un trasduttore di pressione, formando un sistema di pressione dell'aria chiuso. Per garantire che il sensore sia altamente deformabile, l'aria all'interno della camera d'aria è a pressione atmosferica. Ciò mantiene basso il profilo del sensore consentendo l'integrazione e garantendo la conformità. Il montaggio del sensore non richiede più di un minuto, è a basso costo (<15€), altamente flessibile e durevole. Ci sono stati lavori precedenti sui sensori tattili basati sulla pressione dell'aria, con un sensore simile a un tastierino che rileva la forza, la vibrazione e lo slittamento e sensori a soffiato morbido. Questi sensori hanno mostrato solo flessibilità e conformabilità limitate, ma hanno evidenziato l'uso della pressione dell'aria come approccio valido per il rilevamento.





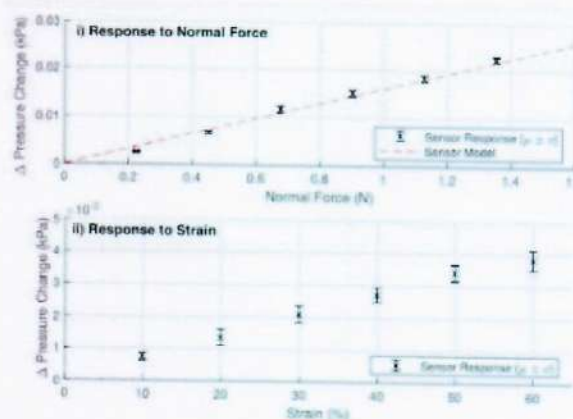
L'obiettivo dello sviluppo del sensore era quello di creare sensori che potessero essere adattati a manipolatori morbidi a corpo continuo esistenti che sarebbero altrimenti difficili da sensorizzare e utilizzare materiali e componenti esistenti, pronti per l'uso per consentire uno sviluppo e un'integrazione rapidi e facili. Questo approccio di utilizzare una vescica morbida per identificare la deformazione o la tensione consente a molti materiali diversi di forme diverse di formare la vescica. I materiali della vescica dovrebbero mostrare un comportamento elastico in modo tale da non subire deformazioni permanenti o cambiamenti di forma. Le dimensioni dovrebbero anche essere scelte per massimizzare la variazione di pressione osservata. In questo caso il sensore era costituito da un palloncino in lattice, lo stesso materiale che compone la pinza. Questa compatibilità nell'impedenza meccanica consente un buon abbinamento tra il sensore e la pinza. Consente inoltre l'uso di sacche standard (palloncini in lattice di larghezza 9 mm e lunghezza fino a 300 mm), rendendo la fabbricazione rapida e a basso costo. È possibile utilizzare diversi approcci meccanici per creare una tenuta tra il sensore e il trasduttore. In questo lavoro analizziamo una fascetta per cavi, poiché fornisce un metodo estremamente rapido per la creazione del sensore (assemblaggio in meno di 2 minuti) e utilizza tutte le parti esistenti in commercio. Esistono metodi meno ingombranti come l'utilizzo di un adesivo siliconico, tuttavia, questo richiede un tempo molto più lungo per la costruzione.



Quando il corpo morbido del sensore è deformato, cambia la pressione interna del sensore. Misurando la pressione del sensore è possibile dedurre la pressione normale o la deformazione applicata. Il filtraggio mediano viene utilizzato per ridurre i piccoli overshoot osservati. Si può vedere che la pressione mostra un'elevata affidabilità e una bassa deriva, un problema comunemente osservato da altre modalità di rilevamento morbido. La sensibilità allo sforzo è inferiore a quella della risposta alla pressione normale. Quando viene applicata una pressione normale al sensore, la variazione della pressione dell'aria equivale alla pressione esterna applicata. Pertanto, per una variazione di pressione di  $\Delta P$  e un'area di contatto di  $A$ , la forza normale può essere stimata:

$$F_N = \frac{\Delta P}{A}$$

La figura seguente mostra la risposta del sensore a forze normali e con il modello tracciato. Questi sono stati ottenuti applicando una data forza normale utilizzando un carico ripetuto o un braccio robotico UR5 con rilevamento della forza. I risultati sperimentali mostrano un forte accordo con il modello. Quando il sensore è stato testato ciclicamente 40 volte, esso ha mostrato una ragionevole ripetibilità con piccole barre di errore.



La deformazione applicata al sensore può anche essere determinata dalla variazione di pressione. La variazione di pressione,  $\Delta P$ , è inversamente proporzionale alla variazione di volume dei sensori secondo Legge dei gas ideali ( $P V = \text{cost}$ ). Supponendo che la temperatura e la quantità di gas all'interno del sensore rimangano costanti, la deformazione può essere identificata dalla variazione di volume rilevata. La relazione tra la lunghezza e l'area della sezione trasversale dei sensori è complessa. In questo caso, assumiamo che la variazione di lunghezza ( $\Delta l$ ) sia significativamente maggiore della variazione dell'area della sezione trasversale,  $A_c$  tale che:

$$V = l A_c, \quad \Delta V = \Delta l A_c$$

Pertanto, esiste una relazione lineare tra la deformazione applicata e l'entità della variazione di pressione. La figura precedente mostra la risposta del sensore alla sollecitazione. Il sensore mostra una sensibilità molto inferiore a causa delle variazioni di pressione minori rispetto al rilevamento della forza normale.



## CONSIDERAZIONI FINALI

Questo documento introduce un nuovo approccio al rilevamento morbido utilizzando sensori di pressione dell'aria. A differenza di molti altri approcci di rilevamento morbido, questi sensori sono robusti, a basso costo, facili da fabbricare e mostrano una deriva minima. La flessibilità e la facilità di fabbricazione e integrazione consentono di incorporare i sensori in corpi morbidi come le pinze universali a corpo continuo e in particolare la pinza a sfera magica. La conformità e la flessibilità con cui il sensore può essere integrato o adattato in strutture continue del corpo senza influire sulle proprietà meccaniche o sulla funzionalità rende il sensore altamente versatile. In questo lavoro, è stato analizzato come, mediante un'attenta selezione del posizionamento, i sensori sulla pinza a sfera magica, possano essere utilizzati per rilevare sia la forza di contatto che le dimensioni della pinza. Ciò dimostra che modificando l'implementazione, la posizione o l'orientamento in cui è integrato il sensore, la funzionalità del sensore viene modificata; questo progetto dovrebbe essere esplorato ulteriormente per sviluppare regole di progettazione per l'integrazione di sensori per eseguire uno specifico compito di rilevamento. È inoltre necessario esaminare lo sfruttamento della capacità di rilevare gli slittamenti e l'abilitazione di un controller che afferra nuovamente l'oggetto quando viene rilevato lo slittamento sul set. In questo lavoro, i sensori sono stati convalidati attraverso la loro capacità di classificare gli oggetti e rilevare lo scivolamento. Sebbene la classificazione sia stata analizzata solo su un piccolo sottoinsieme di

elementi, è stata dimostrata la capacità di mostrare diverse letture del sensore, il che è promettente per l'espansione a un set di elementi più ampio. In particolare, l'integrazione del feedback del sensore consente la presa di oggetti delicati che altrimenti verrebbero danneggiati se afferrati. Pertanto, introducendo questi sensori è possibile eseguire sia una presa delicata che una presa ad alta forza, estendendo la gamma di oggetti che possono essere afferrati per includere oggetti più delicati e fragili.