

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

—

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI

—

LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

ORGANI DI PRESA PER MANIPOLATORI INDUSTRIALI

RELATORE: CH.MO PROF. ING. GIULIO ROSATI

LAUREANDO: FRANCESCO CASTELLI

ANNO ACCADEMICO 2012-2013

alla mia famiglia...

Indice

Sommario	VII
Introduzione	IX
1 Organi di presa: tipologie e caratteristiche	1
1.1 Gripper per l'automazione: concetti base	1
1.1.1 Dizionario di base	3
1.1.2 Parametri fondamentali	5
1.2 Tipologie di gripper	7
1.3 Presa automatizzata	8
1.4 Impactive gripper	14
1.5 Astrictive gripper	19
1.5.1 Vacuum suction & suckers	20
1.5.2 Gripper magnetici	23
1.5.3 Gripper elettroadesivi	27
1.6 Ingressive gripper	29
1.7 Congiuntive gripper	32
1.7.1 Gripper termoadesivi	32
1.7.2 Adesione chimica	33
1.8 Sensoristica e controllo	35
1.8.1 Sensori di prossimitá	36
1.8.2 Sensori tattili	38
1.8.3 Sensori di forza/coppia	40
1.8.4 Sensori di posizione/velocitá	41

2	Componenti Commerciali	43
2.1	Schunk GmbH & Co. KG	43
2.2	Festo AG & Co. KG	45
2.3	Gimatic S.p.A	47
2.4	Tecnomors S.p.A	48
2.5	Robotiq	50
2.6	Sommer-Automatic GmbH	51
2.7	GMG - Global Modular Grippers	53
2.8	AGI Automation Components	56
2.9	Schmalz	57
2.10	Altri produttori	58
3	Organi di presa flessibili	59
3.1	Introduzione ai sistemi F-FAS	59
3.2	Sistemi di cambio pinze o griffe	61
3.3	Hand grippers	64
3.4	Gripper flessibili	67
4	Scelta di un organo di presa	73
	Conclusioni	79
	A Tabella commerciale	81
	B Tabella pressioni di contatto	85
	C Tabella forze di presa in movimento	87
	D Tabelle compatibilit� gripper	89
	Bibliografia	91

Sommario

In questo documento troviamo un approfondimento di carattere generale sulle diverse tipologie di pinze (gripper) per manipolatori industriali con relative tecniche di presa. Il lavoro svolto si articola in quattro sezioni. Il primo capitolo serve a fornire le definizioni base caratterizzanti degli organi di presa. Viene introdotto il concetto di presa automatizzata e successivamente vengono classificate e descritte le varie tipologie di gripper.

Il secondo capitolo é una ricerca commerciale sugli organi di presa industriali, vengono indicati i principali produttori mondiali del settore con una breve descrizione dei prodotti e il loro relativo prezzo di vendita.

Il terzo capitolo é centrato sulla flessibilitá dei sistemi di presa. Vengono introdotti i sistemi di assemblaggio di nuova generazione F-FAS ed elencati i prodotti che consentono di ottenere il grado di flessibilitá desiderato. Tra questi troviamo sistemi di cambio gripper o griffe, mani robotiche e gripper flessibili innovativi.

Nel capitolo quattro viene fornita una scaletta con parziali soluzioni per l'indirizzamento alla scelta di un organo di presa.

Introduzione

Oggi l'automazione industriale ricopre un ruolo fondamentale nel progresso di molte aziende. Per automazione si intende la tecnologia che permette di sostituire l'uomo con le macchine, non solo per eseguire operazioni fisiche, ma anche per decidere in modo intelligente quali operazioni vanno compiute e in che modo. Il lavoro dell'operatore umano viene sostituito da robot, ovvero strutture meccaniche flessibili e programmabili.

I robot che sostituiscono le braccia dell'uomo sono i manipolatori industriali, ovvero un insieme di corpi rigidi interconnessi da giunti meccanici, i quali formano una catena cinematica che permette un certo grado di articolazione.

Esistono diversi tipi di manipolatori, differenti per tipo e numero di giunti, alcune tipologie sono: manipolatore cartesiano, manipolatore a portale, manipolatore cilindrico, sferico, SCARA o antropomorfo.

Il manipolatore termina con un polso meccanico sul quale vengono installati gli organi terminali per consentire la manipolazione di oggetti oppure per eseguire delle operazioni su pezzi di lavorazione.

Gli organi terminali o *end-effector* possono essere distinti in due categorie: gli utensili di lavoro (*tools*) e gli organi di presa o pinze (*gripper*). Gli utensili sono organi costruiti per svolgere una determinata funzione, alcune lavorazioni tipiche sono:

- saldatura ad arco e a punti
- verniciatura a spruzzo
- fresatura e trapanatura
- taglio laser o a getto d'acqua
- incollaggio

- avvitatura
- cablaggio
- finitura
- testing

Nel testo che segue gli utensili non vengono trattati anche se ricoprono un importante ruolo nelle applicazioni industriali, saranno analizzati invece gli organi di presa, nonché le varie tipologie di gripper.

Le pinze robotiche per manipolatori industriali hanno il compito di afferrare oggetti e permetterne uno spostamento, una lavorazione o un'operazione di assemblaggio.

Come descritto esistono molte varietà di gripper, ognuna con pregi e difetti, adatte per ogni applicazione. In seguito saranno elencate le più comuni tipologie, tralasciando l'approfondimento su micro-pinze e pinze di carattere speciale.

Capitolo 1

Organi di presa: tipologie e caratteristiche

1.1 Gripper per l'automazione: concetti base

Gli organi di presa robotici, piú comunemente chiamati gripper, sono la parte terminale della catena cinematica di un robot industriale ovvero l'effettivo collegamento tra robot e l'oggetto da manipolare.

Una definizione di gripper é stata data da *G.J. Monkman* in [1]:

I gripper sono sottosistemi dei meccanismi di presa che forniscono un contatto temporaneo con l'oggetto da afferrare, assicurandone posizione e orientamento durante la movimentazione. La presa é ottenuta per mezzo di forze prodotte da appositi elementi. Il termine gripper viene anche usato nel caso non ci sia un effettivo serraggio, ma solo un contenimento o sostegno dell'oggetto.

Le funzioni principali che un gripper deve svolgere sono:

- Assicurare temporaneamente una definita posizione e orientamento dell'oggetto relativamente a un sistema di riferimento.
- Mantenere in condizioni statiche o dinamiche determinate forze e momenti.
- Permettere la variazione di posizione e orientamento dell'oggetto in relazione a un sistema di riferimento.
- Consentire operazioni tecniche specifiche richieste dalla particolare applicazione.

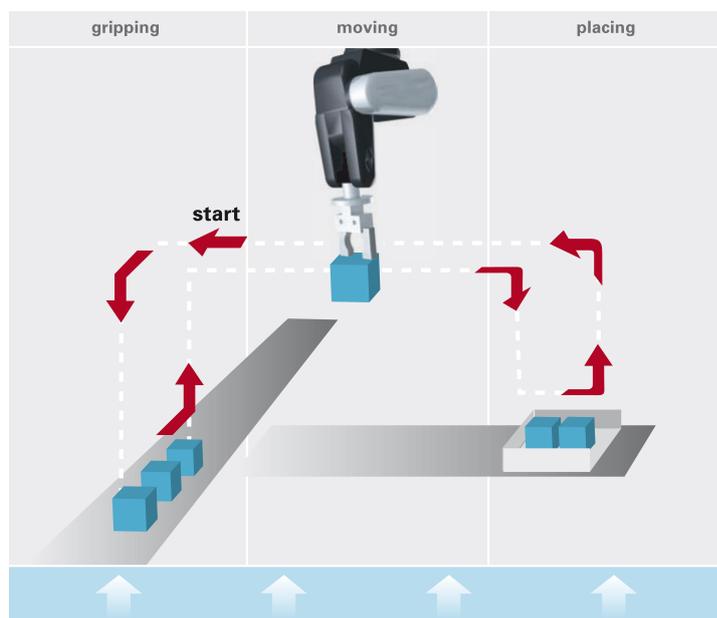


Figura 1.1: Fasi di un processo di presa automatica [2].

Naturalmente i requisiti che un gripper deve soddisfare variano in relazione al campo applicativo in cui viene utilizzato. L'uso dei gripper non é limitato unicamente ai robot industriali ma é un componente universale in tutti i processi automatizzati.

I piú importanti campi applicativi che ne fanno largo uso sono:

- Robotica industriale (presa e manipolazione di oggetti).
- Catene di assemblaggio, montaggio o imballaggio.
- Macchine a controllo numerico (tramite l'impiego di utensili).
- Manipolatori controllati da remoto (campo medico, aerospaziale, nautico).
- Sistemi di carico e scarico di oggetti.
- Robotica di servizio (gripper antropomorfi).

Di seguito sono riportate alcune definizioni utili per il proseguo del documento, seguite da una descrizione dei principali parametri tecnici per una lettura e interpretazione dei data-sheet proprietari.

1.1.1 Dizionario di base

- **Azionamento (Drive system):** il componente che trasforma l'energia primaria (elettrica, pneumatica, idraulica, ...) in un movimento lineare o rotatorio.
- **Dita di presa (Gripper fingers):** strumenti rigidi, elastici o multi-giunto a contatto diretto con l'oggetto da afferrare. Vengono fissate sulle griffe e talvolta dotate di estensori nella parte terminale.
- **Double gripper:** due gripper (anche differenti) montati sulla stessa base che operano in modo indipendente per la presa di due oggetti.
- **End effector:** termine generico che comprende tutte le tipologie di organi terminali per sistemi robotici. Include gripper, utensili, sistemi di ispezione e altri dispositivi alla fine della catena cinematica.
- **Griffe (Jaws):** sono le parti esterne degli impactive gripper soggette a movimento, sulle quali vengono fissate le dita di presa. Solitamente non sono sostituibili poiché parte integrante della meccanica.
- **Multiple grippers:** piú gripper (generalmente identici) installati sulla stessa base, in parallelo, per la presa di piú oggetti contemporaneamente.
- **Oggetto (Workpiece/Object):** termine generale per indicare il componente che deve essere afferrato o sostenuto, non fa riferimento ad alcun tipo di geometria particolare.
- **Presa o serraggio (Prehension):** operazione di acquisizione dell'oggetto.
- **Sistema cambio gripper (Gripper changing system):** modulo ad interfaccia standard per la rapida sostituzione dell'organo di presa. Può essere manuale, semi-automatico o completamente automatizzato.
- **Sistema cinematico (Kinematic system):** unità meccanica (meccanismi) che convertono il movimento lineare o rotatorio dell'attuatore in un movimento delle griffe (parallelo o angolare). Questo meccanismo determina la forza di presa e la velocità del movimento delle griffe.

- **Sistema di presa (Holding system):** termine usato per indicare un insieme di dispositivi che realizzano un'operazione di presa o sostegno di un oggetto. Comprende gripper, dita di presa, sensoristica, moduli rotanti, dispositivi di cambio gripper e protezioni.
- **Sistema di protezione (Protection system):** insieme di elementi fissati esternamente o integrati al modulo di presa che si attivano in caso di sovraccarichi, mancanze di alimentazione o collisioni per evitare danni sia ai robot, sia ai pezzi di lavorazione.

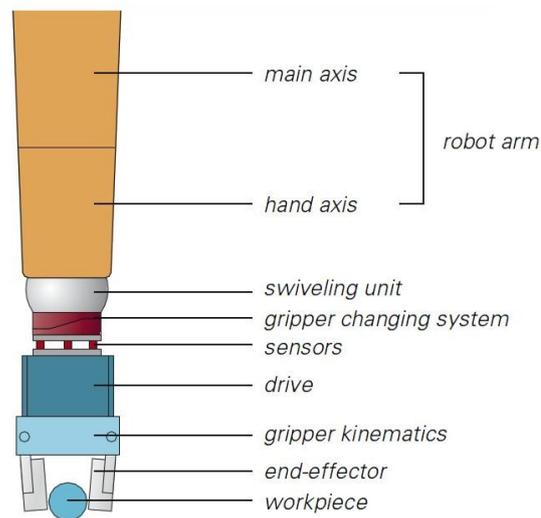


Figura 1.2: Componenti di un end-effector [2].

- **Sostegno o mantenimento (Retention):** operazione successiva alla presa nella quale l'oggetto, già afferrato, viene mantenuto sotto l'azione di forze. La forza di presa e la forza per il sostegno di un oggetto non sono generalmente uguali.
- **Superficie attiva (Gripping surface):** area delle dita di presa ad effettivo contatto con l'oggetto ovvero la superficie soggetta alla forza. Maggiore è questa superficie e minore sarà la pressione esercitata sull'oggetto.
- **Superficie di presa (Gripping Area):** tutta l'area disponibile delle dita di presa dove può avvenire il contatto con l'oggetto.

- **TCP (Tool center point):** punto di lavoro e origine del sistema di riferimento (gripper axis) per l'orientazione del gripper.
- **Modulo rotante (Swiveling unit):** interfaccia elettrica o pneumatica di collegamento tra polso del braccio meccanico e end-effector che permette la rotazione del gripper attorno al suo asse principale. Tra modulo rotante e gripper vengono situate le unità di cambio utensile e i sensori di forza/coppia.

1.1.2 Parametri fondamentali

- **F [N]** *Forza di presa (Prehension/grasping force):* è il totale delle forze applicate da ogni dito di presa, calcolata nel TCP in condizione di alimentazione nominale.
- **M [Nm]** *Momento di presa (Gripping moment):* è la somma aritmetica dei momenti di ogni dito di presa nel TCP in condizione di alimentazione nominale.
- **t_c [s]** *Tempo di chiusura (Closing time):* si riferisce unicamente al tempo in cui le griffe sono in moto, non include tempi di reazione delle valvole o PLC.
- **t_o [s]** *Tempo di apertura (Opening time):* si riferisce unicamente al tempo in cui le griffe sono in moto, non include tempi di reazione delle valvole o PLC.
- **W [Kg]** *Peso della pinza (Gripper weight):* è il peso del gripper senza le dita di presa.
- **m [Kg]** *Massa dell'oggetto (Workpiece weight):* il peso raccomandato dell'oggetto è calcolato per una presa in chiusura con coefficiente di attrito $\mu = 0.1$ e coefficiente di sicurezza $f_s = 2$. Pesi maggiori sono consentiti con dita di presa adattate alla forma dell'oggetto.
- **S [mm]** *Corsa per griffa (Stroke per finger):* massima apertura lineare delle griffe (per pinze parallele) rispetto l'asse centrale del gripper.

- α [°] *Angolo apertura per griffa (Angle per jaw)*: massimo angolo di apertura delle griffe (per pinze angolari) rispetto l'asse centrale del gripper.
- M_x, M_y, M_z [Nm] (*Momenti di carico (Finger load)*): massimi momenti consentiti nella movimentazione del gripper durante la presa.
- F_z [N] (*Forza di carico (Finger load)*): forza massima esterna applicabile al gripper durante la presa.
- **Frequenza di lavoro** [Hz] (*Operating frequency*): é in numero massimo di operazioni di apertura e chiusura che si riescono ad effettuare in un secondo.
- **Lunghezza dita di presa** [m] (*Finger lenght*): il valore esprime la massima lunghezza che le dita possono avere al fine di consentire forze e tempistiche indicate. La lunghezza puó essere maggiore con conseguente calo di prestazioni. Lo stesso vale per il peso delle dita.
- **Ripetibilitá** [mm] (*Repeat accuracy*): é lo scostamento massimo della posizione terminale delle dita di presa, misurato su 100 corse consecutive.
- **Taglia** (*Size*): identifica una misura di un particolare modello, generalmente é associata alle dimensioni della pinza o alla corsa massima.
- **Azione** (*Acting*): il funzionamento a semplice effetto (*single-acting*) indica che la pinza é NO oppure NC con molla in apertura o in chiusura. Il funzionamento a doppio effetto (*double-acting*) permette le prese in apertura o in chiusura, entrambe le posizioni sono controllate.
- n *Numero dita di presa (Fingers number)*
- μ *Coefficiente di attrito (Friction coefficient)*
- f_s *Coefficiente di sicurezza (Safety factor)*: coefficiente moltiplicativo per il dimensionamento delle forze di presa. Generalmente $2 \leq f_s \leq 4$.

1.2 Tipologie di gripper

I gripper possono essere classificati in quattro principali categorie come descritto nel testo [1]:

- **Impactive:** una forza meccanica é direttamente impressa sull'oggetto da due o piú direzioni.
- **Ingressive:** la presa avviene tramite l'inserimento dell'organo di presa nell'oggetto, attraverso una o piú superfici.
- **Astrictive:** una forza o un campo attrattivo vincola l'oggetto consentendone la presa.
- **Congiuntive:** il sostegno dell'oggetto avviene attraverso una forza unidirezionale sviluppata dopo il contatto diretto non impattivo.

Metodo di presa	Tipo di gripper	Tipici esempi
Impactive		Pinze, mani, morse
Ingressive	Intrusive	Aghi, perni, chiodi
	Non-Intrusive	Ganci, velcro
Astrictive	ad Aspirazione	Aspiratori
	Magneto-adesione	Campo magnetico
	Elettro-adesione	Campo elettrico
Congiuntive	Termici	Congelamento, fusione
	Chimici	Adesivi Permatack
	A Fluido	Azione capillare, tensione superficiale

Tabella 1.1: Classificazione principale degli organi di presa.

La maggior parte dei gripper industriali sono di tipo Impactive oppure Astrictive (ad aspirazione o elettromagnetici) grazie alla maggiore versatilitá e al minor

costo. Le altre tipologie vengono impiegate principalmente in settori molto specifici, come industria tessile, alimentare, elettronica o dei semiconduttori.

La categoria dei gripper Ingressive é ulteriormente suddivisa in organi *Intrusive* e *Non – Intrusive*, i primi penetrano attraverso il materiale mentre i secondi in genere si limitano ad unirsi al pezzo stesso o ad agganciarlo.

La Tabella 1.1 fornisce alcuni esempi di gripper per ogni tipologia elencata. Esistono altre categorie trasversali che il documento non affronta, come i gripper a contatto limitato o *contactless* ad effetto Bernoulli oppure la sottofamiglia dei microgripper (piezoelettrici). Entrambe sono trattate nel testo [1].

1.3 Presa automatizzata

Un singolo processo di presa automatizzata può essere sostanzialmente caratterizzato dal numero di oggetti movimentati per unità di tempo.

Il tempo necessario per un operazione é suddiviso in due porzioni: *Handling Time* e *Machine Time* come descritto in [2] e riportato in Figura 1.3.

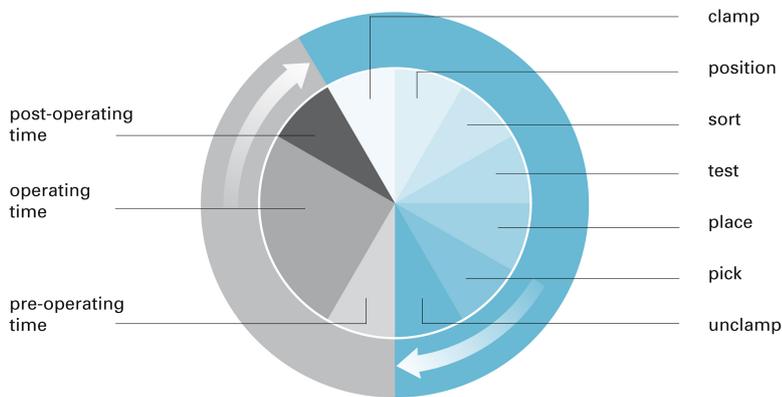


Figura 1.3: Suddivisione temporale di un'operazione di presa [2].

L'intervallo denominato *handling time* comprende tutte le operazioni dall'effettivo serraggio al rilascio dell'oggetto, incluso il posizionamento e il testing. Il *machine time* é l'intervallo di tempo dedicato alla lavorazione dell'oggetto e all'eventuale cambio gripper o lubrificazione. Tutte le operazioni eseguite nei due intervalli temporali devono essere sincronizzate per ridurre spreco di tempo utile

e per massimizzare la produzione.

L'ottimizzazione del processo di presa, per quanto semplice esso sia, può risultare anche molto complicata in presenza di particolari condizioni ambientali e di oggetti di forma molto complessa.

Il punto di partenza per un'operazione di presa è la conoscenza delle caratteristiche geometriche, fisiche e dinamiche dell'oggetto da afferrare (Figura 1.4).

workpiece characteristics			workpiece behavior	
workpiece geometry	characteristic form elements	physical characteristics	at rest	in motion
<ul style="list-style-type: none"> • form (behavior type) • extension / dimension • lateral proportions • symmetry • size 	<ul style="list-style-type: none"> • bore • rod-stop, flange • crimp, bead • notch • rift • groove, slot • chamfer • hook • release • camber/sweep 	<ul style="list-style-type: none"> • material • center of gravity • rigidity • ultimate strength • mass • surface • temperature • processing time • gliding property 	<ul style="list-style-type: none"> • stability • stable orientation • preferred orientation • stackability • suspendability 	<ul style="list-style-type: none"> • slidability • rollability • directional stability

spherical	cylindrical	cubical	plane	tubular	fungi-form
					
spherical workpieces and variations, e. g. ball-bearing balls	cylindrical workpieces without variations, with length-diameter ratio $0.5 < l/D < 30$, e. g. smooth bolts, shafts, polls	block or bulky workpieces of prismatic form, e. g. cube, three-edge, four-edge	mainly two-dimensional workpieces, in most cases already in plane preferred orientation	thin- or thick-walled, not completely closed tubes of cylindrical, prismatic, conical, or mixed forms	simple workpieces of cylindrical, prismatic, or coniform geometry, e. g. screws, rivets

pyramidal / coniform	regular forms	irregular forms	entangling goods	others
				
workpieces of regular and general pyramidal and conical form, e. g. wedge, dual wedge, full cone, truncated cone	workpieces with more than one ledge or variations with linear axes	workpieces with linear and/or crossing axes mainly massive, e. g. press or forge slugs	workpieces bound to jam or wedge, e. g. piston rings, coil springs	all materials workable from a roll, poll, or strip, e. g. steel tape, wire, etc.

Figura 1.4: Caratteristiche dell'oggetto e ambientali [2].

La dinamica iniziale dell'oggetto influisce pesantemente sulla strategia di presa, infatti è necessario che essa sia nota prima dell'operazione di serraggio. Ad esempio un oggetto con possibilità di rotolare deve essere afferrato velocemente per prevenire cambi di posizione.

Conoscere la geometria e le proprietà fisiche dell'oggetto aiuta le operazioni di posizionamento e orientamento, inoltre rende facilmente determinabile il tipo e la quantità forza necessaria per la presa, nonché il numero e la forma delle dita di presa.

Le dita sono l'organo attraverso il quale viene trasmessa la forza sull'oggetto. Esistono diversi tipi di contatto tra dita di presa e oggetto dipendenti dalla morfologia di entrambi e dal numero di punti di contatto. La tabella riportata in Figura 1.5 illustra tutti i più diffusi tipi di contatto con tre oggetti comuni di geometria ben definita, dove k denota il numero di punti di contatto.

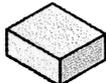
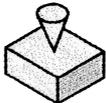
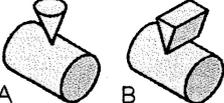
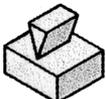
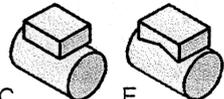
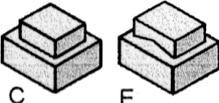
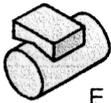
		FORMA DELL'OGGETTO		
		CUBICO	CILINDRICO	SFERICO
K				
	1			
	2			
	3			

Figura 1.5: Punti di contatto tra oggetto e dita di presa [1].

La figura mette in evidenza che le superfici attive possono essere diverse a seconda del tipo di dita utilizzato: A contatto in un punto, B contatto lungo una linea, C contatto su una superficie, D contatto circolare, E contatto su due linee. Tramite combinazioni di queste cinque tipologie si possono realizzare prese con un numero k generico di contatti.

Un oggetto rigido libero di muoversi nello spazio ha sei gradi di libertà (DOF) che descrivono i possibili movimenti traslatori o rotatori. Lo scopo dei gripper è quello di garantire la stabilità della presa limitando il numero di gradi di libertà

dell'oggetto. La limitazione dei DOF può essere realizzata dimensionando correttamente il numero di punti di contatto, ad esempio adattando la geometria delle dita di presa o variandone il numero. Superfici attive più ampie aumentano la stabilità e consentono una riduzione della forza di presa.

La forza di presa varia a seconda della forma e del numero di superfici attive. Se la forza nel punto di contatto è troppo elevata, la pressione esercitata può danneggiare l'oggetto. Nel testo [1] viene fornita l'equazione 1.1 che stabilisce un limite alla forza di presa imposto dalla pressione massima consentita sulla superficie di un determinato oggetto. La formula è valida per contatti su un punto e lungo una linea.

$$\sigma_{\max} = 0.418 \cdot \sqrt{\frac{F_K \cdot E_r}{L} \cdot \left(\frac{2}{d} \pm \frac{1}{r}\right)} \quad [N/mm^2] \quad (1.1)$$

- F_K forza di contatto [N]
- E_r coefficiente medio di elasticità (Formula 1.2) [N/mm^2]
- d diametro dell'oggetto [mm]
- \pm + per dita convesse; - per dita concave
- r raggio di curvatura delle dita di presa ($r = \infty$ per superfici piane) [mm]
- L lunghezza della linea di contatto [mm]
- 0.418 costante empirica

La costante elastica E_r dipende dal materiale delle dita di presa e dell'oggetto.

$$E_r = \frac{2 \cdot E_t \cdot E_s}{E_t + E_s} \quad [N/mm^2] \quad (1.2)$$

- E_t modulo di Young dell'oggetto
- E_s modulo di Young delle dita di presa

La tabella in Appendice B riporta la Formula 1.1 adattata per alcuni contatti base.

Va tenuto presente che la forza di presa va dimensionata considerando i movimenti dell'organo di presa. Infatti spostamenti troppo rapidi, rispetto la forza di chiusura, generano un'inerzia dell'oggetto elevata che può far fallire la presa. Le forze dovute agli spostamenti vanno calcolate in base alla situazione, in [1]

e in Appendice C sono riportati alcuni esempi. Le forze e i momenti di carico massimi consentiti per un particolare tipo di pinza sono generalmente forniti dal costruttore.

Secondo *H. Schunk* nel testo [2] esistono due tecniche di presa principali: *Force-lock* e *Form-lock*, alcuni esempi sono illustrati nella tabella di Figura 1.6.

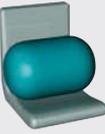
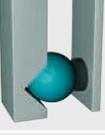
	principle of function		force lock	form lock
gripping with one contact surface	adhesive grip			
	reverse grip			
gripping with more than one contact surface	force-fit			
	force-fit/form-fit			
	form-fit			

Figura 1.6: Classificazione dei tipi di presa: Force-fit e Form-fit [2].

Nella presa Force-lock (o Force-fit) il sostegno dell'oggetto avviene unicamente per effetto delle forze di attrito tra superficie dell'oggetto e dita di presa. Per questo é necessario che le dita siano costruite con materiali ad alto coefficiente di attrito in relazione al materiale dell'oggetto da afferrare. La presa Form-lock (o Form-fit) invece si ottiene con dita adattate alla forma dell'oggetto grazie alle quali la forza si distribuisce lungo tutta la superficie di contatto. Il sostegno

é generato quasi esclusivamente dal contenimento (encompassing) dell'oggetto, quindi la forza da esercitare per la presa risulta minore rispetto una corrispondente presa force-lock. La combinazione dei due casi precedenti dá luogo ad una presa mista.

Una presa force-fit puó diventare form-fit semplicemente cambiando orientamento al gripper. Quanto detto é dimostrato in Figura 1.7, in questo esempio sono riportate le formule per il calcolo della forza per la presa parallela di un oggetto cilindrico attraverso dita prismatiche. Si suppone il cilindro con massa $m = 5Kg$ sottoposto ad un'accelerazione $a = 6m/s^2$ e le dita di presa con $\alpha = 90$, coefficiente di attrito $\mu = 0.1$ e coefficiente di sicurezza $S = 2$.

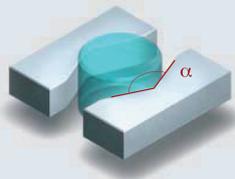
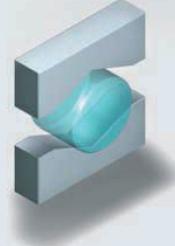
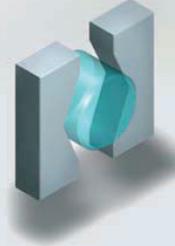
force-fit gripping	form-fit gripping	
		
$F = \frac{m \cdot g}{2\mu} \left(1 + \frac{a}{g}\right) \sin \frac{\alpha}{2} \cdot S$	$F_G = m \cdot (a+g) \cdot S$	$F_G = m \cdot (a+g) \cdot \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2}$
$F_G = \frac{5 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2}{2 \cdot 0,1} \left(1 + \frac{6 \text{ m/s}^2}{10 \text{ m/s}^2}\right) \sin \frac{90^\circ}{2} \cdot 2$	$F_G = 5 \text{ kg} \cdot (6 \text{ m/s}^2 + 10 \text{ m/s}^2) \cdot 2$	$F_G = 5 \text{ kg} \cdot (6 \text{ m/s}^2 + 10 \text{ m/s}^2) \frac{\tan 45^\circ}{2} \cdot 2$
$F_G = 565,7 \text{ N}$	$F_G = 160 \text{ N}$	$F_G = 80 \text{ N}$

Figura 1.7: Confronto tra prese force-fit e form-fit [2].

In alcune applicazioni la presa esterna puó non essere adatta, ad esempio se nell'imballaggio lo spazio dedicato all'oggetto non consente il passaggio delle dita di presa. Per questo, se la forma dell'oggetto lo consente, conviene effettuare una presa intermedia o interna (Figura 1.15). Nella presa intermedia le dita agiscono su una superficie esterna e una interna, risulta adatta per applicazioni *pick-and-place* di oggetti con un appropriato foro o cavità. La presa interna agisce sulle superfici interne di un oggetto cavo, é adatta per imballaggi e per lavorazioni al tornio dato che il pezzo risulta ben centrato, specialmente con gripper a tre griffe.



Figura 1.8: Presa esterna, intermedia e interna [2].

Infine si possono elencare alcune regole per una presa corretta e sicura:

- Usare preferibilmente, dove possibile, una presa form-fit rispetto a una presa force-fit.
- Utilizzare dei blocchi anti-scivolamento del pezzo nel caso di prese astringitive.
- Fornire superfici di contatto parallele.
- Disegnare le dita di presa adeguatamente in relazione agli oggetti da prendere.
- Posizionare il baricentro dell'oggetto possibilmente nel TCP.
- Evitare la presa su zone delicate dell'oggetto.
- Fornire superfici piane per il contatto.
- Centrare l'oggetto rispetto al gripper.
- Per oggetti con superfici sottili preferire prese interne o intermedie.

1.4 Impactive gripper

Sono la tipologia di gripper più diffusa a livello industriale, grazie alla larga varietà di prodotti commerciali (Capitolo 2) e alla loro versatilità, nonché al vantaggio dal punto di vista economico rispetto alle altre tipologie.

La loro fisica è completamente basata sulle leggi della meccanica classica (Newtoniana). Il funzionamento consiste nel convertire un movimento primario generato da un azionatore in un movimento delle griffe attraverso una catena cinematica. I tipici sistemi di azionamento usati, descritti anche in [1], sono:

- Azionamenti elettrici: servomotori, motori passo-passo, motori lineari o dispositivi piezoelettrici. Sono caratterizzati da alti costi e relativamente basse forze di presa ma sono facilmente controllabili e hanno un'elevata precisione.

- Azionamenti pneumatici: pistoni ad aria compressa generalmente uniti ad un sistema meccanico con molle. Sono i piú diffusi poichè hanno costi contenuti, forniscono una buona forza di presa ma il controllo risulta piú complicato rispetto gli azionamenti elettrici.
- Azionamenti idraulici: pistoni oleodinamici. Utilizzati per applicazioni in cui serve elevata forza di presa o in ambienti sporchi. Tuttavia sono molto onerosi dal punto di vista del consumo energetico e nell'installazione.
- Azionamenti magnetici: elettromagneti. Sono i meno comuni a causa della forte dipendenza dalla fonte di alimentazione. Hanno costi relativamente alti per prestazioni ottenibili anche con altre tipologie di azionamenti. A vantaggio hanno una buona controllabilit .

La tabella di Figura 1.9 sintetizza i principali pregi e difetti delle varie tipologie di azionamenti.

drive system					
evaluation criteria	mechanical	pneumatic	hydraulic	magnetic	electric motor
high gripping force					
controllability					
energy transmission					
insensitivity to dirt					
maintenance					
emergency stop behaviour					
constructional size					
environmental influences					
costs					

Figura 1.9: Propriet  degli azionamenti (cerchio pieno=vantaggioso, cerchio vuoto=svantaggioso) [1].

Per quanto riguarda i sistemi cinematici per la trasmissione del moto alle griffe, secondo [1] e [3] i meccanismi piú diffusi che svolgono questa funzione sono:

- Sistemi articolati a leve
- Ingranaggi a vite e madrevite
- Meccanismi guidati a cuneo (Wedge-Hook)
- Sistemi a camme
- Meccanismi a pignoni e cremagliere
- Sistemi a cinghia e puleggia

Questi sistemi sono formati da giunti meccanici con un certo numero di gradi di libertà. Tutti i giunti hanno un problema comune, le operazioni richiedono un determinato lasco (gioco) tra gli elementi per consentirne il libero movimento. Piú questo gioco é grande, tanto minore sará la precisione e la ripetibilitá delle operazioni [1].

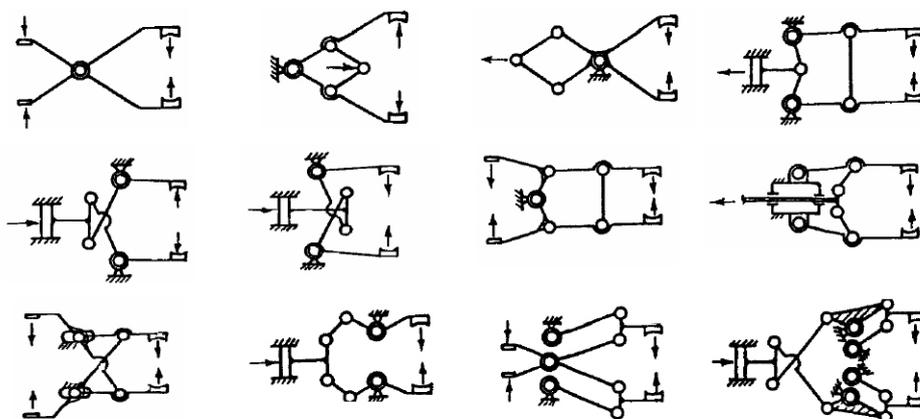


Figura 1.10: Esempio di sistemi cinematici tratti da [3].

Solitamente gli impactive gripper sono composti da due o piú griffe che si muovono simmetricamente rispetto l'asse centrale, ad eccezione dei gripper a singola griffa mobile, mani robotiche (Capitolo 3) e gripper ad espansione.

Ci sono due principali tipi di movimento delle griffe: parallelo e angolare (radiale) [1], [3].

Nelle pinze parallele le griffe rimangono sempre perpendicolari alla base, il movimento é lineare lungo tutta la corsa. Esistono gripper paralleli ad una sola

griffa mobile, a due griffe con movimento sincrono o indipendente, ma anche a tre o quattro griffe concentriche autocentranti. Gripper con un numero maggiore di griffe sono utilizzati per l'assemblaggio di O-Ring e guarnizioni. Le pinze parallele a doppio effetto possono operare in apertura o in chiusura, rispettivamente compiendo una presa interna o esterna. I valori delle forze in apertura e in chiusura sono solitamente differenti per una stessa pinza, la forza per prese interne é maggiore. Per questo il costruttore mette a disposizione grafici di carico per entrambe le possibili soluzioni. Differenti sono anche le forze delle pinze NO e NC a singolo effetto. In questo caso nei data-sheet proprietari vengono riportati grafici della forza della molla in funzione della corsa massima.

Le pinze angolari sono caratterizzate da un movimento delle griffe lungo un percorso curvilineo, attorno ad un punto fisso detto fulcro. L'apertura angolare massima può arrivare fino ai 180°, in questo caso la pinza prende il nome di gripper radiale. Queste pinze sviluppano un movimento puramente rotatorio di facile implementazione, sono affidabili e hanno costi decisamente più bassi della versione a griffe parallele. Anche per i gripper angolari esistono le versioni a doppio effetto, per prese interne ed esterne e a singolo effetto con molla di sicurezza. L'apertura può essere simmetrica o asimmetrica ad una, due o tre griffe mobili autocentranti. I gripper radiali, grazie all'apertura di 180°, sono particolarmente adatti per le operazioni di montaggio e per la presa di oggetti su tavole rotanti o nastri trasportatori. L'impiego di gripper radiali in questi casi consente la riduzione di movimenti del manipolatore, infatti ad apertura massima l'ingombro delle griffe é rimosso dal piano di lavoro, evitando il movimento di arretramento del manipolatore.

Sono state sviluppate numerose varianti per la cinematica delle pinze impattive, le più diffuse sono mostrate in Figura 1.10, il gioco meccanico é proporzionale al numero di giunti del sistema. La forza di presa e la sicurezza del serraggio sono fortemente influenzati dal lasco introdotto dal gioco, dalla dinamica e dalla forma delle dita di presa. Infatti come dimostrato nella Figura 1.7 il valore della forza varia molto nelle diverse condizioni di presa. Tuttavia in [1] viene fornita una formula generale valida per ogni gripper per la stima della forza iniziale di



(a) Gripper parallelo a tre griffe TH Gimatic. (b) Gripper angolare a due griffe PWG Schunk.



(c) Gripper radiale a due griffe HGR Festo.

Figura 1.11: Alcuni esempi di gripper impactive.

presa richiesta:

$$F_G = \frac{m \cdot g \cdot f_s}{\mu \cdot n} \quad [N] \quad (1.3)$$

- m massa dell'oggetto [Kg]
- f_s fattore di sicurezza
- g accelerazione di gravità ($g = 9.81 \dots$ [m/s^2])
- μ coefficiente di attrito
- n numero di griffe

Per il calcolo della forza disponibile in particolari condizioni, ad esempio con valori di alimentazione non nominali o TCP non centrato, il costruttore generalmente fornisce grafici della forza in funzione del braccio di leva per piú pressioni come quello in Figura 1.12.

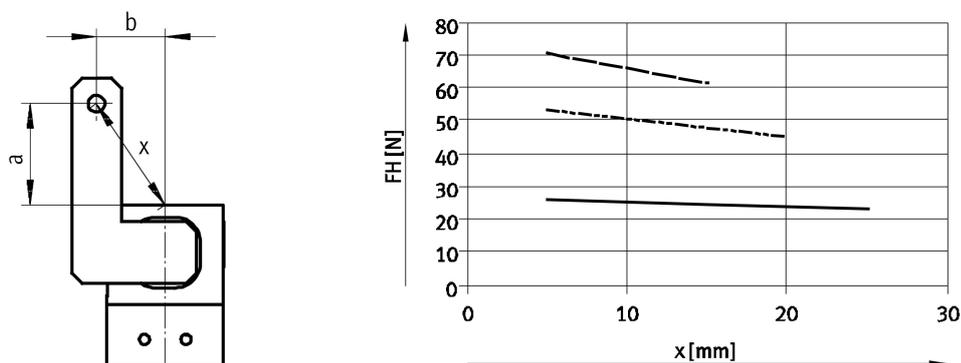
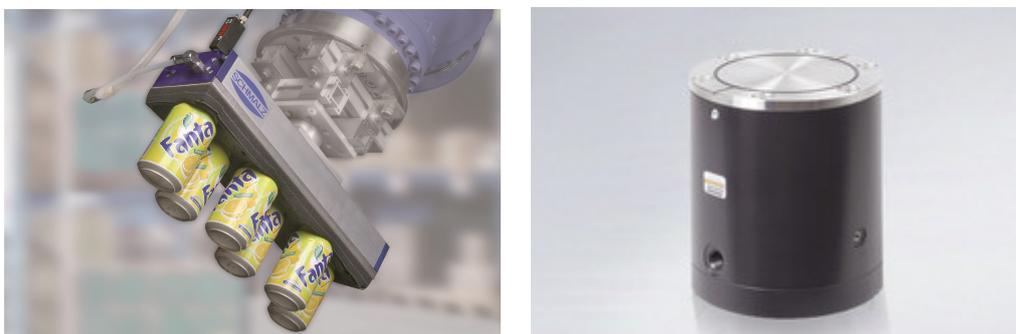


Figura 1.12: Grafico di carico per pinza HGPD Festo con pressioni di 4,6,8 bar, dove FH é la forza di presa e $x = \sqrt{a^2 + b^2}$.

Gli impactive gripper piú diffusi sono quelli ad attuazione pneumatica, oltre al buon rapporto efficienza/costo hanno la peculiaritá che sono facilmente regolabili. La velocitá di chiusura e apertura delle griffe puó essere variata con un semplice regolatore di portata mentre la forza é proporzionale alla pressione di alimentazione. La sicurezza della presa in mancanza di alimentazione nei gripper a semplice effetto puó essere garantita dalla molla oppure, come nella variante a doppio effetto, di una valvola distributrice 5/3 con centri allo scarico. Il problema principale dei gripper pneumatici é la scarsa flessibilitá nella presa di oggetti di dimensioni molto variabili. Infatti la corsa del pistone é costante quindi ad ogni operazione l'apertura sará massima senza possibilitá di un pre-posizionamento delle griffe in relazione delle dimensioni del pezzo. Questa operazione é possibile solo con complicati circuiti di controllo, a discapito della prontezza del sistema oppure con gripper ad attuazione elettrica.

1.5 Astrictive gripper

I gripper di questa categoria hanno la proprietá di fornire una forza continua senza la compressione dell'oggetto, alcuni esempi sono i gripper ad aspirazione, magnetoadesivi ed elettroadesivi.



(a) Gripper ad aspirazione FX/FXC
Schmalz.

(b) Gripper magnetico HM1000 Sommer-
Automatic.

Figura 1.13: Alcuni esempi di gripper astrictive.

1.5.1 Vacuum suction & suckers

La tecnologia *astrictive* piú antica e maggiormente usata negli impianti industriali é la tecnica del vuoto (*vacuum suction*). I gripper che implementano questa tecnologia sono detti *suction gripper* (Figura 1.13 (a)) e si possono distinguere in base alla tecnica di presa: una tipologia utilizza generatori del vuoto (*vacuum suckers*), l'altra invece aderisce tramite ventose (*passive suction cups*) ([1]).

I gripper ad aspirazione vengono usati per sollevare da oggetti grossi e pesanti fino a piccoli componenti come nell'industria dei semiconduttori o nel microassemblaggio. Il principio di funzionamento é molto semplice, una calotta flessibile (*suction cap*) viene compressa ermeticamente sulla superficie dell'oggetto. Il vuoto viene poi generato all'interno della calotta creando una pressione negativa che fornisce la forza necessaria per il sostegno dell'oggetto. I vacuum suckers generano il vuoto attraverso dispositivi elettro-meccanici. La calotta flessibile del gripper a contatto diretto con l'oggetto é detta *suction head* e generalmente é di materiale elastomerico.

Il vuoto necessario per per la presa viene tipicamente prodotto con uno dei seguenti metodi:

- pompe e soffiatori
- generatori ad effetto Venturi
- soffietti

- cilindri pneumatici

L'uso di pompe consente di ottenere alti valori di vuoto con bassi costi di lavorazione. Contrariamente i costi iniziali per accessori e installazioni sono molto alti. I generatori a soffiatore (vacuum blowers) producono bassi valori di vuoto (Figura 1.14) tuttavia sono facilmente controllabili e quindi si rendono adatti per la presa di oggetti porosi.

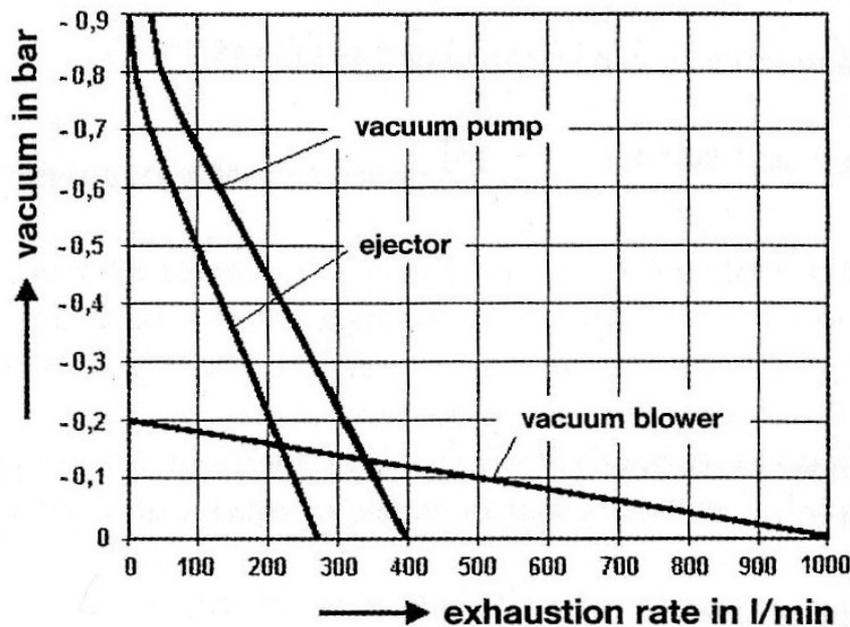


Figura 1.14: Confronto tra tipici generatori di vuoto [1].

I generatori ad effetto Venturi (ejectors) sono facili da installare, con bassi costi iniziali, hanno il vantaggio di non avere parti in movimento e possono essere direttamente integrati nel gripper. Gli svantaggi sono legati agli alti costi operazionali a causa del continuo consumo di aria compressa. Questi generatori sono i piú diffusi poichè tramite una semplice valvola si riesce ad ottenere l'espulsione dell'oggetto (blow-off effect). Inoltre é facile aumentare la forza di presa o la sicurezza semplicemente unendo piú blocchi in serie o in parallelo.

I sistemi di aspirazione pneumatici sono usati specialmente per applicazioni di assemblaggio. Non dipendono direttamente da un flusso di aria compressa ma producono alternativamente un'aspirazione e un'espulsione in base alla corsa del

pistone.

La pressione che si esercita sull'oggetto é il rapporto tra la forza di ritenzione F e la superficie attiva A . Tenendo in considerazione gli effetti della gravitá g e dell'accelerazione del robot a su un oggetto di massa m , la pressione di contatto σ si ottiene dall'equazione 1.4 [1].

$$\sigma = \frac{F - m \cdot (g + a)}{A} \quad [N/m^2] \quad (1.4)$$

Per un tipico gripper ad aspirazione, la forza iniziale statica di presa é data approssimativamente da:

$$F = (\sigma_0 - \sigma_u) \cdot A \quad [N] \quad (1.5)$$

dove σ_0 é la pressione atmosferica [*bar*] e σ_u é la pressione del vuoto applicata [*bar*]. Generalmente il vuoto che si riesce a produrre é compreso tra il 10% (-0.101 bar) e il 90% (-0.912 bar). Tuttavia pressioni negative oltre il 60% sono costose da realizzare (dati forniti da [1]).

Effettuata la presa, appena il robot comincia a muoversi, entrano in gioco numerosi altri effetti, come la deformazione della calotta che comportano una diminuzione dell'effettiva forza di presa. Una quantizzazione degli effetti viene descritta dalla formula 1.6.

$$F = (\sigma_0 - \sigma_u) \cdot A \cdot n \cdot \eta \cdot z \cdot \frac{1}{f_s} + m \cdot g \quad [N] \quad (1.6)$$

- n coefficiente di deformazione (0.6 ÷ 0.9)
- f_s coefficiente di sicurezza. Tipicamente $2 \leq f_s \leq 3$
- z numero di suction cap
- η efficienza del sistema

La forza di presa é funzione dell'area attiva che a sua volta é determinata dalla geometria della calotta. Il diametro d di una suction cap circolare puó

essere calcolato approssimativamente dalla seguente equazione, assumendo una situazione statica o lentamente variabile:

$$d = 11.3 \cdot \sqrt{\frac{m \cdot g}{\sigma_u \cdot z}} \quad [mm] \quad (1.7)$$



Figura 1.15: Ventose a vuoto per manipolatori Fipa.

Nelle ventose il vuoto viene creato semplicemente comprimendo la calotta di materiale morbido contro una superficie liscia o leggermente curva dell'oggetto. La compressione può essere manuale o meccanica, ad azionamento pneumatico o elettrico. la presa non dipende da nessuna fonte di alimentazione quindi viene considerata sempre sicura anche se eventuali perdite di pressione non possono essere compensate. Il rilascio dell'oggetto può essere realizzato tramite una valvola sulla calotta che permette la compensazione con la pressione atmosferica [1].

1.5.2 Gripper magnetici

I gripper ad azione magnetica possono essere utilizzati solamente per la presa di oggetti ferromagnetici. Ne esistono due tipologie distinte: a magnete permanente (forma passiva) e ad elettromagnete (forma attiva) [1].

I gripper a magneti permanenti (Figura 1.13 (b)) utilizzano magneti di forma e caratteristiche appositamente disegnate. Il magnete viene avvicinato o posto a contatto con l'oggetto consentendone la presa. Il procedimento di rilascio avviene meccanicamente attraverso il distanziamento forzato dei componenti. Una soluzione può essere quella di deviare il flusso magnetico ruotando la calamita come descritto in figura 1.16 oppure un sistema pneumatico a leve, agendo sul pezzo o sul magnete, ne permette il distacco (meno usato).

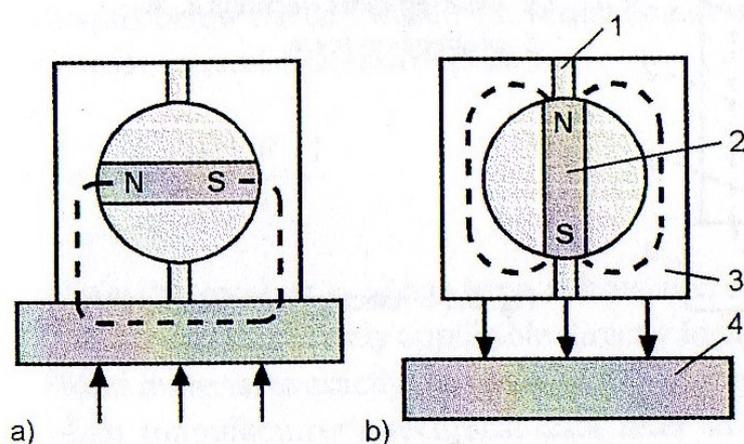


Figura 1.16: Controllo meccanico del flusso magnetico. a) presa, b) rilascio. 1 supporto; 2 magnete permanente; 3 alloggiamento metallico; 4 oggetto [1].

Punto di forza di questi gripper è la sicurezza in caso di mancanza improvvisa dell'alimentazione, infatti il magnete continua a svolgere il suo lavoro mantenendo la presa. Sussiste però il problema della magnetizzazione residua sull'oggetto che può causare l'attrazione di altri corpi ferromagnetici. Un altro problema può derivare dal fatto che la presa effettiva non comincia a contatto avvenuto come per i gripper elettromagnetici, ma il magnete attira l'oggetto prima dell'effettivo contatto. Questo causa un impatto tra oggetto e gripper e in alcuni casi può provocare danni ai componenti.

Il magnete permanente mantiene le sue proprietà magnetiche indefinitivamente, variazioni di prestazioni si osservano a temperature elevate, oltre il punto di Curie tipico del materiale. Ad esempio i magneti ceramici possono sopportare temperature vicine ai 100°C mentre i magneti *AlNiCo* raggiungono temperature oltre i 450°C. Con la tecnologia a terre rare si riesce ad ottenere una alta forza magnetica

con un peso del gripper relativamente inferiore rispetto a quello ottenuto con altri materiali.

Nei gripper elettromagnetici il campo magnetico é generato elettricamente da una bobina avvolta su un nucleo ferromagnetico e attraversata da una corrente come mostrato in figura 1.17

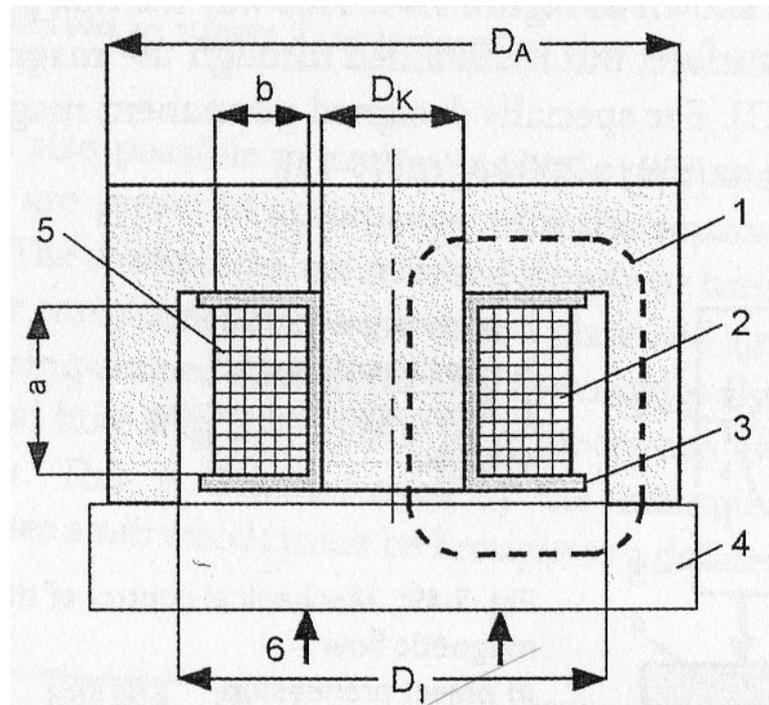


Figura 1.17: Gripper elettromagnetico. 1 flusso magnetico; 2,5 avvolgimenti; 3 supporto per avvolgimenti; 4 oggetto; 6 forza di presa [1].

In prima approssimazione la forza di presa che si viene a generare é la forza magnetica data dalla seconda legge elementare di Laplace ([1] e [4]):

$$F = B \cdot I \cdot l \quad [N] \quad (1.8)$$

- B campo magnetico $[T]$
- I intensità di corrente elettrica attraverso il conduttore $[A]$
- l lunghezza del conduttore $[m]$

dove il campo magnetico B può essere calcolato tramite la formula:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H = \frac{\Phi}{A} \quad [T] \quad (1.9)$$

- μ_0 permeabilità magnetica relativa al vuoto [$4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m]
- μ_r permeabilità magnetica relativa al mezzo ferromagnetico
- H campo intensità magnetica [A/m]
- ϕ flusso magnetico [Weber]
- A area di una sezione del nucleo ferromagnetico [m^2]

L'uguaglianza 1.9 assume che la dipendenza tra B e H sia lineare. Nella realtà si dovrebbe tenere conto della saturazione del mezzo ferromagnetico. L'equazione 1.10 permette di calcolare il campo intensità magnetica H conoscendo il numero di avvolgimenti N , la corrente I e la lunghezza del percorso magnetico nel nucleo p .

$$H = \frac{N \cdot I}{p} \quad [A/m] \quad (1.10)$$

L'unione delle formule 1.8, 1.9 e 1.10 permettono di ottenere la forza di presa in funzione unicamente della corrente e di parametri di forma.

$$F = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot I^2 \cdot l}{2p} \quad [N] \quad (1.11)$$

La pressione esercitata quindi é data da:

$$\sigma = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot I^2 \cdot l}{2p \cdot A} \quad [N/m^2] \quad (1.12)$$

dove il prodotto $\mu_0 \cdot \mu_r$ é stato abbreviato con con μ . Queste formule possono essere applicate solamente se la permeabilità relativa al mezzo μ_r del nucleo e dell'oggetto da afferrare sono uguali. Questo generalmente é sempre assunto vero in tutti i manuali tecnici dei gripper commerciali. Nel caso siano molto differenti il circuito deve essere modellato in modo simile considerando la variazione di riluttanza magnetica. Il tempo di reazione del gripper dipende dal tempo che ci impiega la corrente ad arrivare al suo valore di regime I_s . Sappiamo che per un circuito RL l'equazione di carica per la corrente é:

$$i(t) = I_s (1 - e^{-t/\tau}) \quad [A] \quad (1.13)$$

mentre per la scarica si ha:

$$i(t) = I_s \cdot e^{-t/\tau} \quad [A] \quad (1.14)$$

dove τ é la costante di tempo data da:

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (1.15)$$

con L induttanza della bobina e R la resistenza complessiva degli avvolgimenti, entrambi dipendenti da parametri di forma. Si puó notare che per avere un alta forza di presa bisogna aumentare l'intensitá del campo magnetico, ad esempio aumentando N , questo però comporta anche un aumento della costante di tempo τ con conseguente allungamento dei tempi di risposta. Un *trade-off* progettuale si rende quindi necessario in base alla particolare applicazione. Gli elettromagneti possono lavorare sia in corrente alternata che in corrente continua. In ogni caso, dopo il rilascio, sull'oggetto rimane una magnetizzazione residua che puó provocare ritardi nei tempi di risposta o problemi nelle successive lavorazioni, ad esempio l'oggetto magnetizzato potrebbe attrarre eventuali altri oggetti ferromagnetici o polveri. Utilizzando corrente alternata ad alta frequenza questo fenomeno si riduce ma appaiono altri fattori da tenere in considerazione.

Riassumendo i gripper elettromagnetici hanno il vantaggio di:

- Facile costruzione, senza parti in movimento.
- Permettono un preciso controllo e una semplice alimentazione.
- Non ci sono perdite per attrito con l'oggetto.
- Alta forza di presa.
- Utilizzabili per oggetti con forme e dimensioni variabili.

mentre gli svantaggi sono:

- Possono sollevare solo materiali ferromagnetici.
- Magnetizzazione residua nell'oggetto.
- Un'improvvisa mancanza di alimentazione causa l'immediato rilascio dell'oggetto.
- Il peso e le dimensioni sono direttamente proporzionali alla forza di presa.

1.5.3 Gripper elettroadesivi

In questa versione di gripper é il campo elettrico a fornire la forza necessaria per la presa di un oggetto. Questa tecnologia si diffuse nel campo dei semiconduttori,

in particolare per la presa di wafers di silicio. I gripper elettroadesivi, a confronto di quelli ad aspirazione, possono sollevare wafers contenenti fori e possono lavorare in ambienti dove é stato creato il vuoto ([1]).

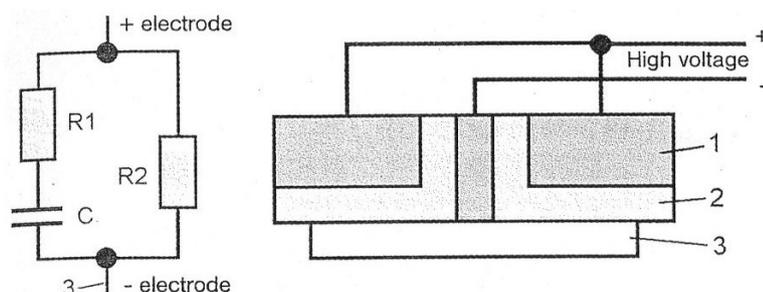


Figura 1.18: Schema concettuale di un gripper elettroadesivo. 1 elettrodi; 2 dielettrico; 3 oggetto [1].

La Figura 1.18 mostra un semplice esempio circuitale di un gripper elettroadesivo. Essenzialmente il dispositivo é composto da uno o piú condensatori. La differenza di potenziale applicata per ottenere forze di presa accettabili é normalmente di migliaia di volts.

Dalla teoria base sull'elettrostatica ([4]) sappiamo che il valore della capacità di un condensatore piano con armature di area A distanti d con costante dielettrica relativa ϵ_r é data da:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} \quad [F] \quad (1.16)$$

dove ϵ_0 é la permittività dielettrica del vuoto ($\epsilon_0 = 8.854 \cdot \cdot \cdot \times 10^{-12} \quad [C^2/N/m^2]$). Sostituendo la formula 1.16 nell'equazione fisica dell'energia 1.17

$$e = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 = F \cdot d \quad (1.17)$$

si può calcolare la forza di presa in funzione unicamente della differenza di potenziale applicata V e di parametri di forma:

$$F = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A \cdot V^2}{2 \cdot d^2} \quad [N] \quad (1.18)$$

Per ottenere la pressione esercitata sull'oggetto infine é sufficiente riarrangiare le formule 1.16 e 1.18

$$\sigma = \frac{C \cdot V}{2 \cdot A \cdot d} \quad [N/m^2] \quad (1.19)$$

La forza di presa può essere incrementata con l'aumento della differenza di potenziale ai capi del condensatore o aumentando la capacità. Tuttavia l'aumento della differenza di potenziale è limitato dalla tensione di rottura del dielettrico. La capacità può essere aumentata agendo su ε_r oppure su A e d . Come nei gripper magnetici il tempo di reazione dipende dalla costante di tempo $\tau = R \cdot C$, anche in questo caso quindi un'alta forza di presa si ottiene a discapito della prontezza del sistema [1].

Generalmente la forza dei gripper elettroadesivi è minore di quelli magnetici, però questa tecnologia consente la presa di materiali ferromagnetici e metalli non ferromagnetici. Esistono gripper anche per la presa di oggetti isolanti. Il principio di funzionamento rimane più o meno lo stesso tuttavia cambia il tipo di polarizzazione del materiale usato.

Gli oggetti che possono essere sollevati devono avere dimensioni e peso contenuti, si rendono quindi ottimi per la movimentazione di oggetti non ferromagnetici, delicati o porosi. La loro efficienza è molto alta a causa del ridotto consumo di potenza. Gli svantaggi di questa tipologia di gripper sono:

- Forza di presa direttamente proporzionale alle dimensioni.
- Perdita di efficienza in ambienti molto umidi.
- Ritardo nel rilascio dell'oggetto dovuto alla scarica non istantanea del condensatore.
- Tensione di alimentazione molto elevata

1.6 Ingressive gripper

Il termine *ingressive* è usato per tutte le tecniche di presa invasive che introducono un componente fisico nella superficie dell'oggetto, ad una determinata profondità.

Sono inclusi mezzi *intrusivi* come aghi, perni o chiodi che attraversano il materiale e mezzi *non-intrusivi* che non penetrano il materiale come ganci o velcro. I gripper ingressive applicano una forza di ritenzione solo su una superficie dell'oggetto, a differenza delle tecniche impactive che realizzano la presa su più superfici. Sono usati quasi esclusivamente per materiali flessibili morbidi, fibrosi o porosi

come tessuti o pannelli di fibra di vetro o carbonio. I requisiti dei gripper che questi materiali richiedono sono:

- fornire la necessaria forza per il sostegno senza danneggiare il materiale
- flessibilità per la presa di oggetti di varia forma e dimensioni
- alta precisione e affidabilità
- alta frequenza di lavoro

I più diffusi e interessanti sono i gripper con meccanismo intrusivo, infatti solo questa categoria sarà analizzata in dettaglio. Per dettagli sui gripper non-intrusivi consultare [1]

Le più recenti tecnologie consistono in una distribuzione più o meno fitta di aghi fissati su una piattaforma planare, cilindrica o su un nastro. Il movimento opposto di due o più di queste strutture su un materiale permette agli aghi di penetrarlo consentendone la presa.

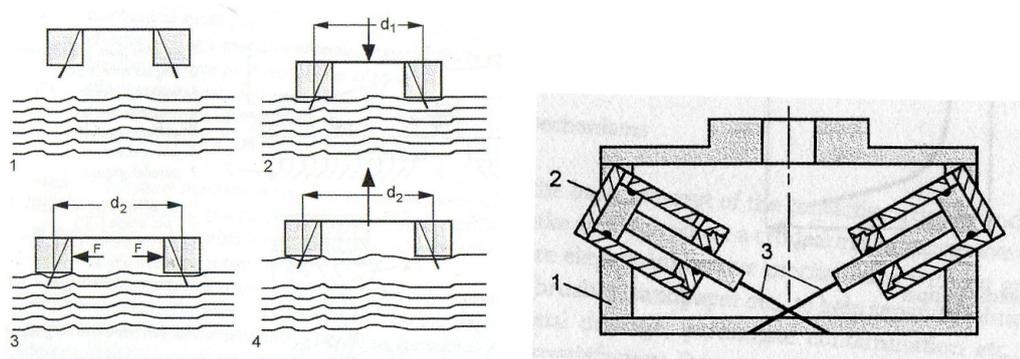
Gripper intrusivi tipici possono essere dotati di un numero di aghi variabile tra 10 e i 40, con un diametro dai 0.5 ai 5 mm. Generalmente gli aghi sono leggermente arrotondati per non danneggiare il materiale. La profondità di penetrazione è tipicamente compresa tra 0 e 5 mm.

Da [1] ricaviamo che esistono due principali movimenti per effettuare la presa di un materiale. Gli aghi possono essere allontanati mantenendo il materiale in tensione come mostrato in Figura 1.19 (a) oppure fatti scorrere uno verso l'altro (Figura 1.19 (b)).

La forza di presa dipende dal numero e dal tipo di aghi, dalla loro distanza e dall'inclinazione. Il grafico di Figura 1.20 mette in relazione la forza di presa con l'inclinazione degli aghi. Si può notare che la forza aumenta per angoli piccoli cioè con aghi molto inclinati.

Una valutazione numerica della forza si ottiene dalla seguente equazione:

$$F_H = \sigma \cdot A_N \cdot n_N \quad [N] \quad (1.20)$$



(a) Gripper intrusive per la separazione di tessuti [1]. (b) Gripper intrusive a doppio pistone [1].

Figura 1.19: Gripper ad aghi con differente meccanismo.

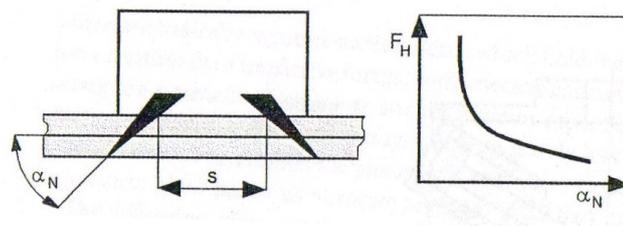


Figura 1.20: Caratteristica forza-inclinazione aghi di un gripper intrusivo [1].

dove i parametri σ e A_N possono essere calcolati con le formule:

$$\sigma = \frac{E_{Z6\%} \cdot d}{2 \cdot s \cdot \sin \alpha_N} \quad (1.21)$$

$$A_N = \frac{d^2 \cdot \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right)}{\sin \alpha_N} \quad (1.22)$$

- σ stress meccanico (pressione) [N/m^2]
- A_N area della sezione dell'ago attraverso il materiale [m^2]
- $E_{Z6\%}$ modulo di Young del materiale al 6% di tensione meccanica [N/m^2]
- d spessore dello strato di materiale [m]
- s distanza tra gli aghi
- n_N numero di aghi
- α_N angolo di penetrazione
- γ angolo di apertura dell'ago

La Figura 1.19 (b) illustra un esempio di un gripper intrusivo con azionamento pneumatico. Il movimento lineare del pistone viene convertito (da un sistema cinematico a cuneo) nell'uscita degli aghi, fermando l'alimentazione una molla ne consente il rientro. Esistono varianti per sistema cinematico e per azionamento, questa categoria é descritta in dettaglio in [1].

1.7 Congiuntive gripper

Generalmente gli organi di presa fanno affidamento ad un contatto diretto, i congiuntive gripper creano una continuitá tra la superficie attiva del gripper e quella dell'oggetto attraverso l'apporto di materiale specifico. In base al tipo di materiale congiuntivo usato si possono distinguere due principali categorie di prese: la termoadesione e l'adesione via materiali chimici. Nel testo [1] si trovano approfondimenti su entrambe le tipologie.

1.7.1 Gripper termoadesivi

La termoadesione viene realizzata con l'inserimento di piccole gocce d'acqua tra la superficie attiva del gripper e la superficie dell'oggetto e successivamente congelate da un improvvisa applicazione di azoto o biossido di carbonio liquido. Il ghiaccio che si viene a formare funziona da strato adesivo (ice bridge), la superficie congelata é mantenuta in genere ad una temperatura di circa -10°C , per il rilascio dell'oggetto viene riscaldata causando lo scioglimento del ghiaccio. Questa tecnologia viene solitamente usata per la presa di materiali tessili i quali non soffrono per variazioni di temperatura. Qualche problema si ha con materiali ceramici o materiali che hanno subito cotture. Il processo di completo congelamento dello strato avviene in poco meno di un secondo cosí come lo scioglimento se vengono utilizzati elementi riscaldanti esterni. La forza di presa per unitá di superficie varia da circa $1\text{N}/\text{mm}^2$ fino anche a $100\text{N}/\text{mm}^2$. La forza effettiva di presa per

adesione termica può essere calcolata con l'equazione:

$$F_{ad} = \frac{W_{sl}^{ad} \cdot A_r}{\delta} = \frac{\sigma_{lg} (1 + \cos \Theta) \cdot A_r}{R_z} \quad [N] \quad (1.23)$$

$$\cos \Theta = \frac{\sigma_{gs} - \sigma_{sl}}{\sigma_{lg}} \quad (1.24)$$

- W_{sl}^{ad} lavoro di adesione [J/m^2]
- δ spessore dello strato di materiale termico [m]
- Θ angolo di contatto al punto triplo
- A_r area effettiva di contatto [m^2]
- R_z profondità media delle asperità della superficie [m]
- $\sigma_{sl}, \sigma_{lg}, \sigma_{gs}$ stress meccanici delle interfacce [N/m^2]

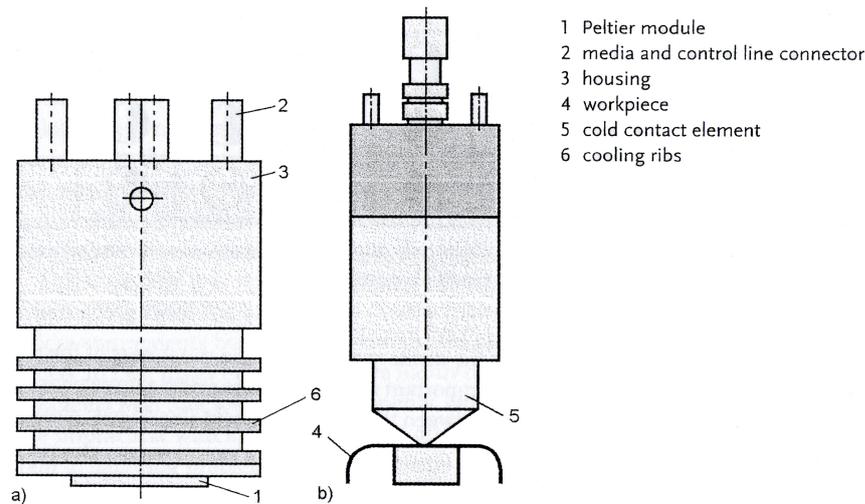


Figura 1.21: Esempio di gripper a cella di Peltier [1].

Congiuntive gripper per microcomponenti possono essere realizzati con *celle di Peltier* come in Figura 1.21, anche se lenti hanno il vantaggio di avere un'unica unità di congelamento/riscaldamento.

1.7.2 Adesione chimica

L'adesione chimica utilizza strati di materiale adesivo creato appositamente per la specifica applicazione. Esistono numerosi materiali utilizzabili, per quanto riguar-

da i sistemi di presa, essi devono soddisfare due importanti requisiti: fornire un adeguata forza di adesione ed essere facilmente e velocemente sostituibili quando le proprietà adesive vengono meno. L'avanzata ricerca nel campo della chimica dei polimeri ha portato allo sviluppo di un materiale riutilizzabile (*Permatack*) con elevata forza adesiva in grado di mantenere le sue proprietà per centinaia di operazioni prima di necessitare di una pulizia o della sostituzione. La tecnologia degli adesivi comprende molte discipline come chimica, meccanica e scienze dei materiali, questo elaborato non vuole trattare tutti le possibili scelte, per informazioni più dettagliate consultare [1].

Uno studio eseguito sulla presa di materiali tessili ha dimostrato che la perdita di adesività e quindi di forza di presa, comincia dalla prima operazione ed è stata quantificata da Hall in *Feeding and Handling Aspects of an Automated System for Garment Manufacture* con l'equazione:

$$F = \alpha \cdot N^{-k} \quad [N] \quad (1.25)$$

dove α è una costante dipendente dalla superficie di contatto e dalla contaminazione del materiale, N è il numero di operazioni di rilascio e k è una costante dipendente dal materiale.

In ambienti estremamente puliti e protetti dalla polvere $k \rightarrow 0$ rendendo la forza di presa praticamente costante. Naturalmente la pressione da esercitare varia a seconda del tipo di superficie (liscia o ruvida), in ogni caso è stato dimostrato che una pressione maggiore a $3N/mm^2$ è sufficiente.

Come puntualizzato da in [1] la pressione σ_0 dipende dal tempo di adesione. Infatti la pressione iniziale σ_i decresce esponenzialmente in funzione del tempo di adesione t_0 come dimostrato in().

$$\sigma_0 = \sigma_i \cdot e^{-N \cdot t_0} \quad [N/m^2] \quad (1.26)$$

con σ_i dato da F diviso l'area di contatto A .

$$\sigma_i = \frac{F}{A} \quad [N/m^2] \quad (1.27)$$

A livello applicativo esistono numerosi brevetti che realizzano questi gripper. Un esempio a nastro, poi utilizzato dalla *Pfaff* e dalla *Durkopp*, è descritto in

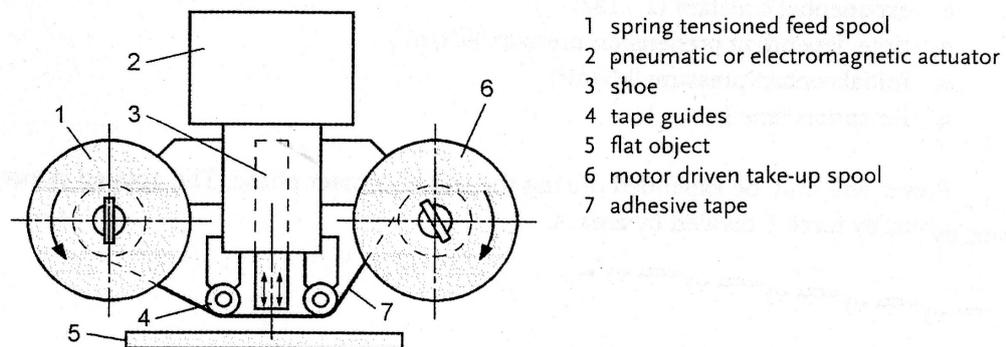


Figura 1.22: Gripper a nastro adesivo [1].

Figura 1.22. Il principio di funzionamento é quello dei VHS: una bobina di nastro adesivo pulito si srotola fornendo una porzione utilizzabile per la presa. Un pistone pneumatico centralmente esercita la giusta pressione per far aderire il nastro all'oggetto. Il rilascio avviene avvolgendo il nastro esaurito nella seconda bobina.

1.8 Sensoristica e controllo

Oggi giorno ben pochi organi di presa sono sprovvisti di un sistema di sensori per il posizionamento e la rilevazione degli oggetti. Questo sistema addizionale raccoglie informazioni tramite differenti percettori e le invia ad unità di controllo solitamente esterne, le quali monitorizzano il movimento e la sincronizzazione di ogni singola operazione.

Esistono essenzialmente tre tipi di percezione legati agli organi di presa:

- Rilevamento della presenza di un oggetto da prendere.
- Verifica della presa o rilascio.
- Controllo della posizione e dell'orientamento dell'oggetto.

Tutte queste funzioni possono essere implementate attraverso l'utilizzo di quattro categorie di sensori: sensori di prossimità, sensori tattili, sensori di forza/coppia e sensori di posizione/velocità.

1.8.1 Sensori di prossimit 

I sensori di prossimit  (*Proximity Sensors*) sono in grado di rilevare la presenza di un ostacolo/oggetto a distanza, entro la loro portata nominale, senza contatto fisico.

La caratteristica di questi sensori   l'assenza di parti in movimento e quindi godono di elevata durabilit  e ripetibilit  giustificando il largo impiego nei processi industriali.

Esistono due categorie di sensori di prossimit : una fornisce un'informazione binaria (ON-OFF) sulla presenza dell'oggetto, l'altra consente una misura della distanza dell'oggetto rilevato.



Figura 1.23: Nuovo sensore di prossimit  magnetico MMS-PI della Schunk.

I sensori si distinguono poi dal principio di funzionamento:

- Induttivi: si basano sul principio della variazione di flusso magnetico attraverso un materiale conduttore. Questi sensori riescono a rilevare unicamente pezzi ferromagnetici, hanno portata nominale piuttosto bassa (qualche mm) ma lavorano a frequenza molto elevata rendendoli adatti per oggetti in rapido movimento.

- **Capacitivi:** il sensore costituisce un armatura di un condensatore, l'eventuale superficie di un oggetto forma la seconda armatura. Il principio si basa sulla misurazione della variazione di capacità. Lavorano a frequenze più basse ma hanno portate nominali più elevate (decine di mm) e sono adatti per la rivelazione di praticamente qualsiasi oggetto.
- **Magnetici:** necessitano di un magnete permanente montato sull'oggetto da rilevare, il funzionamento consiste nel misurare la variazione di campo magnetico: contatti Reed o basati sull'effetto Hall. I primi hanno basse velocità di commutazione ma i secondi possono arrivare anche ai migliaia di Hz. La portata nominale è elevata, fino a qualche cm. Sono molto resistenti ed economici, non possono operare vicino a grosse fonti elettromagnetiche.
- **Ottici (Fotoelettrici):** si basano sulla riflessione di un fascio luminoso (infrarossi). Sono composti da un ricevitore che rileva il raggio inviato dall'emettitore e riflesso sulla superficie dell'oggetto. Il corretto funzionamento dipende molto dal tipo di superficie dell'oggetto. Possono lavorare in logica NC o NO, la portata è molto elevata (decine di cm). Con riflettori montati sull'oggetto si possono raggiungere portate fino a 50m. Tenendo in considerazione i tempi di propagazione è possibile calcolare la distanza dell'oggetto
- **Ad Ultrasuoni:** emettono impulsi sonori ultrasonici e rilevano un eventuale eco di ritorno dovuto alla presenza di un oggetto. Sono molto costosi e lavorano a basse frequenze ma hanno elevata portata nominale (decine di m), rendono calcolabile la distanza e sono immuni a campi elettromagnetici. Non sono adatti per rilevare fibre tessili e oggetti molto porosi.

I sensori di prossimità sono usati per diverse funzionalità. Molto spesso il sensore magnetico viene fissato sul cilindro dell'attuatore pneumatico e il magnete permanente montato sul pistone, in questo modo può operare come finecorsa e arrestare l'alimentazione a corsa massima o minima.

Sensori ottici possono essere montati all'estremità delle dita di presa o centralmente sulla base per la rilevazione dell'oggetto, consentendo anche il centraggio

della presa. Più sensori possono essere integrati sulla superficie attiva delle dita di presa per una misurazione delle dimensioni dell'oggetto.

1.8.2 Sensori tattili

I sensori tattili (*TactileSensors*) reagiscono al contatto fisico con un oggetto. Ci sono due principali categorie di sensori: i sensori di contatto i quali generano solamente un informazione binaria e i sensori tattili che forniscono invece un informazione sulla forza esercitata sulla superficie del sensore. Entrambe le tipologie possono essere organizzate in array (o matrici) per fornire una ricostruzione del tipo di contatto.

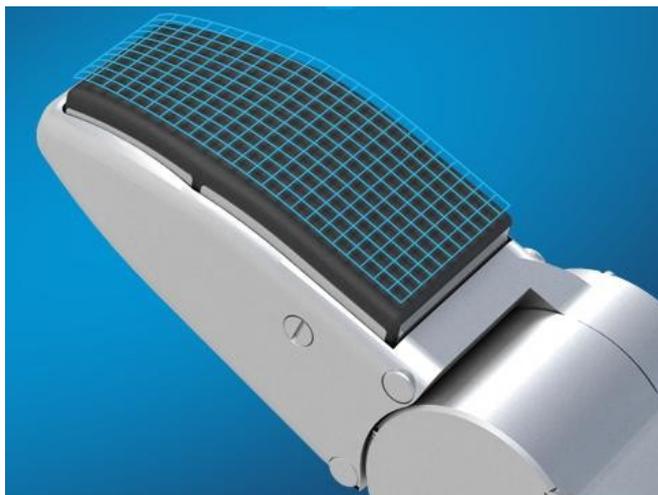


Figura 1.24: Sensore tattile ad array montato sulla mano SDH Schunk.

Da [5] troviamo che le tecnologie costruttive più comuni sono:

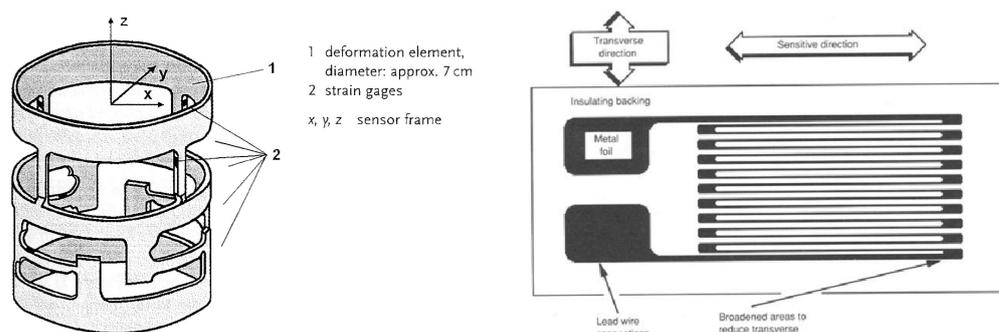
- Sensori Meccanici: I più semplici esempi di sensori a contatto sono: il sensore switch meccanico, il quale viene utilizzato come rilevatore di impatto o finecorsa e la matrice di sensori pneumatici che ricostruisce la distribuzione delle forze perpendicolari tramite segnali binari.
- Sensori Piezoresistivi: sfruttano la variazione di resistenza elettrica del materiale in funzione della deformazione per la misurazione della forza applicata.

- **Sensori Capacitivi:** consistono in condensatori con distanza delle armature variabile, dipendente dalla forza applicata. Tali sensori possono essere molto piccoli e quindi si possono costruire matrici con alta densità di sensori garantendo ottima sensibilità, sono poco costosi ma presentano isteresi e richiedono un'elettronica di controllo piuttosto complessa.
- **Sensori Ottici:** sfruttano la proprietà di riflessione di materiali con indici di riflessione differenti, ad esempio una forza applicata su una griglia di fibra ottica crea delle microcurvature che variano il flusso luminoso rilevato dai fotodiodi. Questa tipologia riesce ad ottenere alta sensibilità, garantisce immunità a interferenze elettromagnetiche, bassi tempi di risposta e alta flessibilità. A discapito hanno un alto consumo e sono difficilmente miniaturizzabili.
- **Sensori Magnetici (effetto Hall):** si basano sulla misurazione della variazione di flusso magnetico attraverso un circuito. Tale misurazione comunemente sfrutta l'effetto Hall su una lamina di metallo sottile, la forza esercitata da un contatto varia la forma variandone il flusso. I sensori magnetici hanno molti pregi tra cui alta sensibilità, assenza di parti in movimento, bassi consumi, assenza di isteresi e risposta lineare. Il principale difetto è che non possono essere usati su mezzi magnetici.
- **Sensori Piezoelettrici:** i sensori con materiali piezoelettrici generano differenze di potenziale proporzionali alla forza applicata. Hanno una buona sensibilità ma sono sensibili alla temperatura.
- **Sensori FSR-Force Sensing Resistor:** sono formati da fogli conduttivi separati da un mezzo dielettrico e sottoposti ad una differenza di potenziale. Una forza applicata permette di rilevare la posizione dove è avvenuto il contatto. Tali sensori sono molto economici ma altamente inefficienti.
- **Sensori QTC-Quantum Tunneling Composites:** sono basati sull'effetto tunnel, possono trasformarsi da perfetti isolanti a conduttori se sottoposti a deformazioni. Sensibili e flessibili ma con risposta non lineare.

I sensori tattili a matrice vengono generalmente installati su ogni superficie utile delle dita di presa consentendo così di determinare e modificare l'accuratezza della presa. L'elevato costo e il complesso controllo di questi sensori trova campo principalmente su mani robotiche antropomorfe ad uso non industriale, come la SDH della Schunk o la Barret-Hand.

1.8.3 Sensori di forza/coppia

La misura di coppia è un elemento importante per il controllo delle operazioni di un organo di presa. I sensori di forza/coppia sono generalmente montati tra il gripper e la flangia di fissaggio. Questi sensori sono composti da un elemento deformabile di varia struttura e da componenti sensibili a tale deformazione [1]. Questi componenti possono essere sistemi optoelettronici o *strain gauge pairs* (Figura 1.25 (b)), ovvero particolari sensori a film sottile metallico, semiconduttivo o piezoresistivo costruiti per avere sensibilità maggiore per deformazioni in direzioni preferenziali [6]. Un esempio di sensore a sei componenti è illustrato in Figura 1.25 (a).



(a) Sensore di forza/coppia a sei componenti [1].

(b) Strain gauge metallico (Immagine presa dalla rete).

Figura 1.25: Esempio sensore di forza e strain gauge.

Gli strain gages vengono fissati sulle parti deformabili della struttura per monitorarne espansione e compressione, in questo caso ci sono otto sensori con i quali si possono calcolare forze e momenti agenti su ognuno dei tre assi principali

attraverso una matrice di parametri 6×8 [1]. In figura 1.26 invece é riportato un sensore optoelettronico a sei componenti. I sensori a strain gauge metallici sono economici, hanno bassa sensibilità e una dipendenza lineare dalla temperatura, quelli a semiconduttore invece sono molto sensibili ma dipendono in modo non-lineare dalla temperatura. I sensori optoelettronici invece non dipendono dalla temperatura e sono immuni a campi elettromagnetici esterni [1].

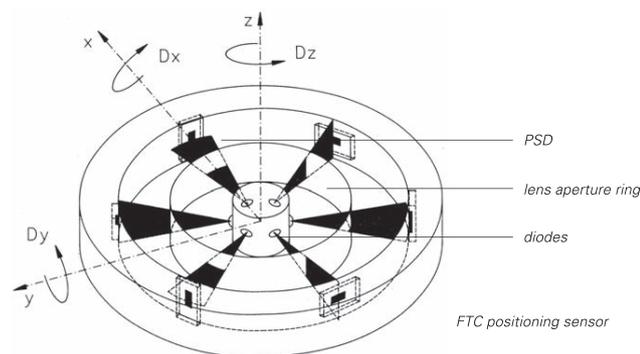


Figura 1.26: Sensore optoelettronico di forza/coppia [2].

1.8.4 Sensori di posizione/velocità

Fanno parte di questa categoria gli accelerometri, encoder, trasduttori ad induzione e potenziometri. I sensori sotto descritti sono approfonditi in [7]. I potenziometri (Figura 1.27) misurano una rotazione o uno spostamento lineare e sono formati da un cursore mobile che scorre su un resistore: ogni valore di resistenza corrisponde a una diversa posizione. Sono sensori economici e robusti di limitata sensibilità con andamento lineare e bassa frequenza di lavoro.

I trasduttori ad induzione servono per misurare uno spostamento che può essere lineare o angolare. Per questo esistono due principali categorie: trasformatori lineari differenziali e sincro. I primi misurano spostamenti lineari attraverso la variazione di flusso magnetico sui i rami di un trasformatore con nucleo a lato mobile. I trasduttori sincro sono sistemi a bobina mobile in grado di variare la sua posizione in relazione al campo magnetico prodotto da magneti fissati sul dispositivo. La variazione di f.e.m. indotta é proporzionale all'angolo di rotazione.

Gli encoder sono dispositivi ottici o magnetici in grado di misurare una rotazione



Figura 1.27: Sensore di posizione a potenziometro MLO-POT della Festo.

angolare, questi possono essere incrementali o assoluti. Gli encoder incrementali misurano una variazione angolare relativa attraverso un treno di N impulsi ognuno corrispondente ad una rotazione di α gradi pari alla risoluzione angolare. Questa tipologia é solitamente utilizzata per la misura della velocità di rotazione, hanno costi contenuti ma richiedono dell'elettronica aggiuntiva per il controllo. Gli encoder assoluti invece forniscono la posizione angolare assoluta rispetto un asse di partenza attraverso la generazione di una parola binaria. Non richiede necessariamente elettronica esterna, ha un costo maggiore rispetto gli l'incrementale, sensibilità proporzionale al numero di bit per la codifica.

Gli accelerometri sono complessi circuiti integrati per la misurazione di accelerazione lineare e inclinazione i quali richiedono ulteriore elettronica per il condizionamento e il controllo.

Capitolo 2

Componenti Commerciali

Di seguito sono riportati i maggiori produttori di organi di presa industriali con elencate le principali produzioni e alcuni modelli di pinze, alcuni modelli sono descritti con i relativi parametri in Appendice A. I prezzi indicati sono indicativi e reperiti dalla rete, possono anche riferirsi a cataloghi meno recenti, per gli effettivi costi dei vari pezzi é necessario richiedere il listino prezzi alla casa distributrice indicata nel sito web proprietario.

2.1 Schunk GmbH & Co. KG



Figura 2.1: Logo della Schunk GmbH.

Sito web: www.it.schunk.com

La società tedesca é sicuramente leader nel settore, sia per la vasta scelta a disposizione sia per la qualità dei suoi componenti. Le soluzioni dell'azienda ricoprono tutto il settore della manipolazione automatica, infatti tra i prodotti troviamo: manipolatori (Lightweight arm LWA-2/3/4P), moduli rotanti e lineari, sistemi automatici e manuali di cambio gripper (MWS, FWS, HWS, GWS, SWS e DWS), sistemi anticollisione (OPS, OPR), sistemi di compensazione (AGE, FUS), unità pick and place e sensoristica. Tutti i componenti godono di buona modularità,

quindi sono facilmente adattabili e intercambiabili per ogni applicazione. Per quanto riguarda i moduli di presa pneumatici vale la pena citare la serie *Plus* che comprende i modelli:

- MPG: gripper a due griffe parallele per piccoli componenti.
- PGN: gripper universale a pinze parallele.
- DPG: pinza parallela a tenuta stagna.
- PZN e PZB: gripper a 3 griffe autocentranti per uso universale.
- DPZ: gripper a tre griffe autocentranti a tenuta stagna.

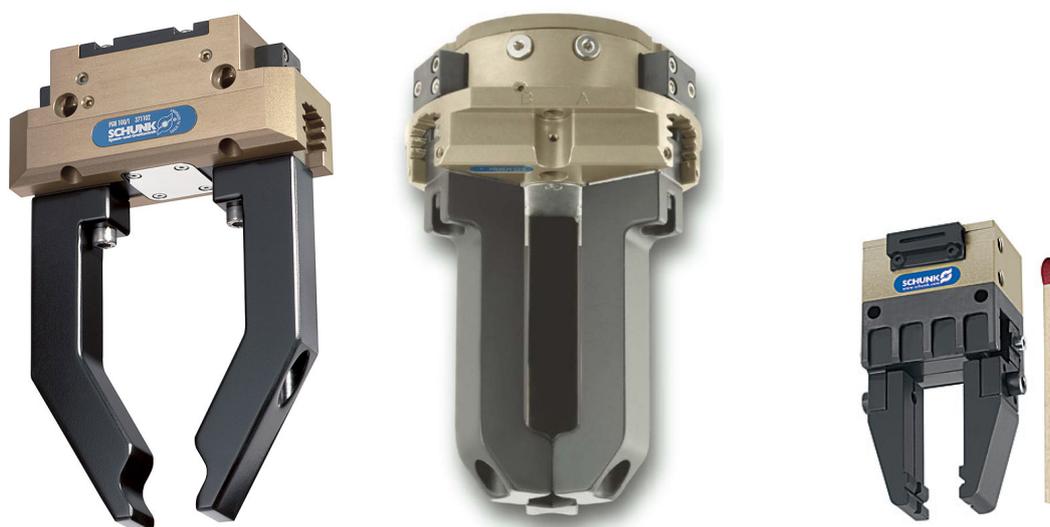


Figura 2.2: Modelli PGN, PZN e MPG della serie plus Schunk [8].

Questa serie di nuova fattura é molto performante grazie alla recente tecnologia *multi-tooth guidance* che permette alte precisioni e minimo gioco delle griffe. Inoltre tutta la serie dispone di alte forze di presa e la possibilità di utilizzare dita di presa molto lunghe. Ai modelli della serie possono essere abbinati sensori magnetici o induttivi di prossimità , sensori di posizione, coperture protettive per ambienti gravosi e sistemi rapidi di cambio griffe. I semilavorati delle dita di presa sono opzionali. I prezzi per queste pinze possono variare dai 450€ fino oltre i 10000€ a seconda della taglia o del modello.

Nella versione ad alta precisione sono incluse anche pinze ad attuazione elettrica, i modelli EGN a due griffe parallele e EZN a tre griffe concentriche autocentranti.

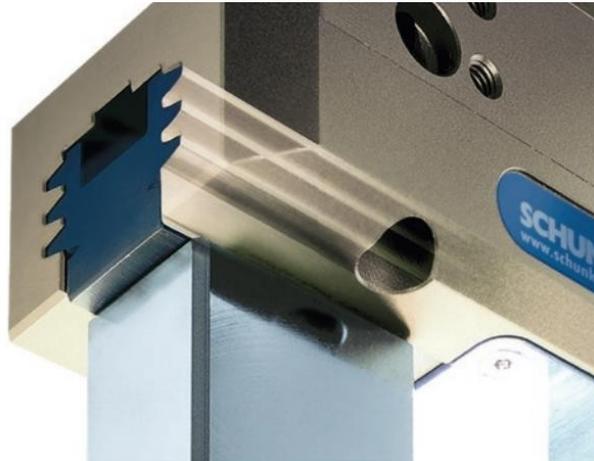


Figura 2.3: Guida Multi-Tooth della serie Plus [8].

Altri modelli ad attuazione pneumatica ed elettrica sono riportati nella tabella di Appendice A con relative caratteristiche e prezzi di mercato. L'azienda produce anche una mano robotica, la schunk dextrous hand SDH, brevemente discussa nel capitolo 3 e componenti per applicazioni specifiche come assemblaggio guarnizioni, gripper per l'industria alimentare (LMG) e gripper magnetici (EGM).

2.2 Festo AG & Co. KG

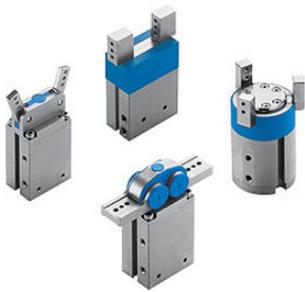
Figura 2.4: Logo della Festo AG & Co.

Sito web: www.festo.com/cms/it_it/9460.htm

Nel listino di questa società tedesca troviamo un'ampia scelta di componenti per l'automazione industriale, specialmente per tecniche di manipolazione pneumatica e elettrica. Di propria produzione troviamo: attuatori lineari e rotanti pneumatici oppure elettrici, sistemi di posizionamento servopneumatici, sensori e valvole. Le tipologie di organi di presa messe a disposizione sono essenzialmente impactive e astringitive. Come gripper astringitive troviamo generatori di vuoto e

ventose, ad esempio la nuova serie di eiettori OVEM a controllo elettronico. La gamma di pinze industriali prodotte si divide in:

- Pinze parallele a due griffe: ad attuazione elettrica troviamo l'ottimo gripper HGPLE ad elevata corsa e precisione. Ad attuazione pneumatica la scelta é molto piú ampia e troviamo i modelli: HGPT con forza di presa elevata, HGPL a lunga corsa, HGPP con alta precisione, HGPPI alta precisioe e movimento indipendente delle dita, HGPC economica per piccoli oggetti, HGP pinza standard a design compatto e HGPM micro-pinza ideale per industrie elettroniche.
- Pinze a tre griffe concentriche: i modelli sono tutti ad attuazione pneumatica tra cui troviamo: HGD pinza standard autocentrante, HGDT pinza robusta autocentrante con versione $-F$ ad elevata forza di presa, HGDD a tenuta stagna e DHDS ad uso universale.
- Pinze pneumatiche angolari a due griffe: HGWM micro-pinza ottimizzata per l'assemblaggio, HGW pinza standard autocentrante, HGWC pinza economica per uso universale e DHWS pinza universale autocentrante a singolo o doppio effetto.
- Pinze pneumatiche radiali a due griffe: DHRS universale autocentrante, HGRT e HGRC ad esecuzione robusta.
- Pinza ad espansione DHEB.



(a) Modelli base Festo [9].



(b) Gripper ad espansione DHEB festo.



(c) Gripper elettrico HGPLE con controllore Festo.

Figura 2.5: Alcuni modelli della Festo.

I prezzi di questi gripper variano dai 100€ ai 300€ per le micro-pinze, per le pinze parallele invece i costi sono tra i 300€ e i 1200€ con possibilità di salire fino

ai 3500 per alcuni modelli (HGPL). Per pinze angolari e radiali i prezzi scendono tra i 70€ e i 200€ salvo alcuni modelli che possono raggiungere i 550€. Il modello elettrico HGPLE si trova per 1400€ circa. In aggiunta Festo mette a disposizione dei gripper speciali come il modulo di presa OGGB con principio di funzionamento ad effetto Bernoulli per prese a minimo contatto di oggetti delicati come wafer di semiconduttore. Oppure la pinza DHDG citata nel Capitolo 3 con dita flessibili per adattarsi alla forma dell'oggetto da prendere.

2.3 Gimatic S.p.A

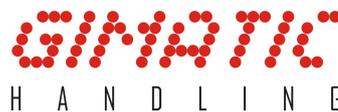


Figura 2.6: Logo della Gimatic SpA.

Sito web: www.gimatic.com

La Gimatic SpA vanta di una vasta gamma di prodotti per l'automazione, quali pinze pneumatiche ed elettriche, guide lineari, attuatori rotanti e lineari, ventose piane e a soffietto. Ultimamente la società produce anche sensori di prossimità e di contatto.



(a) Modello base GM Gimatic.

(b) Pinza ad aghi PT Gimatic.

(c) Sistema cambio gripper automatico QC Gimatic.

Figura 2.7: Alcuni prodotti della Gimatic.

Il punto di forza senza dubbio è la vasta scelta di pinze per l'industria che mette a disposizione, che possiamo classificare in:

- Pinze elettriche parallele: MPPM a due griffe e MPTM a tre griffe autocentranti.
- Pinze pneumatiche a tre griffe concentriche: SXT, T, TH, XT, PA, con prezzi da 250€ a 850€.
- Pinze pneumatiche a due griffe parallele:
 - MG, MGX, GM per carichi pesanti. Prezzo dai 340€ ai 850€.
 - SH, PQ, PE a corsa elevata. Prezzo dai 220€ ai 1350€.
 - S, SZ pinze economiche. Prezzo dai 170€ ai 330€.
 - SX, XP a alta protezione. Prezzo dai 200€ ai 325€.
 - DH, GS pinze universali. Prezzo dai 189€ ai 260€.
 - HS per alte velocità. Prezzo dai 210€ ai 330€.
- Pinze pneumatiche radiali a due griffe:
 - XR, GX pinze universali. Prezzo dai 175€ ai 260€.
 - PS, PS-P a coppia costante. Prezzo dai 370€ ai 740€.
- Pinze pneumatiche angolari a due o tre griffe:
 - GW, XA, PN-2, pinze universali a due griffe. Prezzo dai 120€ ai 360€.
 - PB non autocentrante a due griffe. Prezzo dai 145€ ai 190€.
 - AA a corsa regolabile a due griffe. Prezzo attorno ai 250€.
 - TFA micro-pinza a due griffe. Prezzo su richiesta.
 - PN-3 pinza universale a tre griffe. Prezzo dai 180€ ai 450€.
- Pinze pneumatiche ad espansione: MFD per presa interna con espansione verso il basso e MFU per presa interna ad espansione verso l'alto. La membrana elastica é disponibile in silicone o EPDM.
- Pinza pneumatica a 4 aghi PT per industrie tessili o alimentari (Figura 2.7 (b)).

2.4 Tecnomors S.p.A

Sito web: www.tecnomors.it

La società italiana fornisce una vasta scelta di componenti per l'automazione: da morse e organi di presa fino ad attuatori e accessori per robot.



Figura 2.8: Logo della Tecnomors SpA.

L'offerta dei gripper industriali si limita a gripper pneumatici di tipo impactive e qualche modello ad intrusione o per applicazioni specifiche, tra questi troviamo:

- Serie DTS. Pinze a due o tre griffe universali a corsa parallela. Dispongono di elevata qualità e precisione, a disposizione anche la versione *S* con elevata forza di presa. Possibile dotazione di sensori di prossimità e dispositivi di sicurezza a molla.
- Serie LGE e OPL. Pinze parallele a due o tre griffe per oggetti di piccole dimensioni. Entrambi i modelli dispongono in modo opzionale (non di serie) del kit di controllo attraverso sensori di prossimità esterni, la serie LGE dispone anche del kit con molla di sicurezza in apertura e chiusura.
- Serie OPE e OZ. Organi di presa paralleli a due o 3 griffe a corsa elevata, fino a 17.5mm per gripper a tre griffe e fino a 28.20cm per le due griffe. Opzioni non di serie sono il controllo di prossimità esterno, dispositivo di sicurezza a molla integrata e stabilizzatore a molle per organi a tre griffe.
- Serie QPG. Pinze parallele a due o tre griffe ad elevata forza di presa (fino a circa 4500N per griffa) ed elevata precisione (ripetibilità 0.01mm). Controllo via sensore di prossimità, dispositivi di sicurezza a molla e dita semilavorate opzionali. Versione con foro passante per gripper a tre griffe.
- Serie OP. Organi di presa a corsa parallela ad alto grado di protezione IP, per lavori gravosi. Dotabili di molle di protezione e sensori di prossimità.
- Serie OG e FRG. Gripper angolari a due o tre griffe per uso universale, in aggiunta con controllo della posizione attraverso sensori esterni.
- Serie MAGNUM. Pinze parallele a due griffe per camere sterili.
- Serie VRG e X-RAY. Pinze parallele a due griffe a grandissima corsa.
- Serie LPG. Pinze sottili a due griffe con corsa elevata.
- Serie BLQ. Organi di presa ad espansione in gomma, per prese interne o esterne.
- Serie OPT. Gripper ad aghi per materiali non rigidi.

- Serie OPRING. Gripper speciali per assemblaggio guarnizioni.
- Serie RCD. Organi di specifici presa per bottiglie. Oltre ai moduli di presa l'azienda fornisce sistemi di cambio gripper automatici (CXC, MXC, Omega 3, Sigma) e manuali (CRM), sistemi anticollisioni (QS) e supporti per robot.

2.5 Robotiq



Figura 2.9: Logo della Robotiq.

Sito web: www.robotiq.com/en/products/industrial-robot-grippers

Il giovane gruppo canadese mette a disposizione solamente tre prodotti, tuttavia sono tre gripper universali innovativi e molto flessibili. Il primo gripper é una pinza ad attuazione elettrica con due dita di presa a movimento adattabile. Il suo utilizzo puó essere universale, per applicazioni industriali, *pic & place* o assemblaggi. La complessa cinematica consente a questa pinza di effettuare tre tipologie di presa in base alle necessità: consente la presa parallela alle estremitá delle dita, presa interna in apertura e *encompassing grip*. Attraverso queste modalitá di presa e alla completa possibilitá di controllo consente di afferrare oggetti solidi di qualsiasi forma e oggetti delicati. Questa versione ha una corsa di 85mm per una forza di presa fino a 100N (Figura 2.10 (a)). Una seconda versione di questo gripper é stata progettata per carichi piú gravosi infatti dispone di una corsa di 200mm per una forza di presa fino ai 730N (Figura 2.10 (b)). Il prezzo di mercato per questi componenti si aggira attorno ai 4500€.

Un modello completamente diverso é la mono robotica elettrica a tre dita multi-giunto (Figura 2.11). Il gripper consente di riprodurre le principali tecniche di presa: parallela, encompassing e angolare. Come gli altri modelli integra sensori per il completo controllo e dispone delle principali interfacce di connessione per il comando da remoto. L'elevata flessibilitá e complessitá giustifica il prezzo di vendita di questo componente, che raggiunge circa i 14000€. Le caratteristiche

principali di tutti e tre i modelli sono riportati nella tabella dell'Appendice A. Per ulteriori informazioni consultare i cataloghi proprietari sul sito indicato.

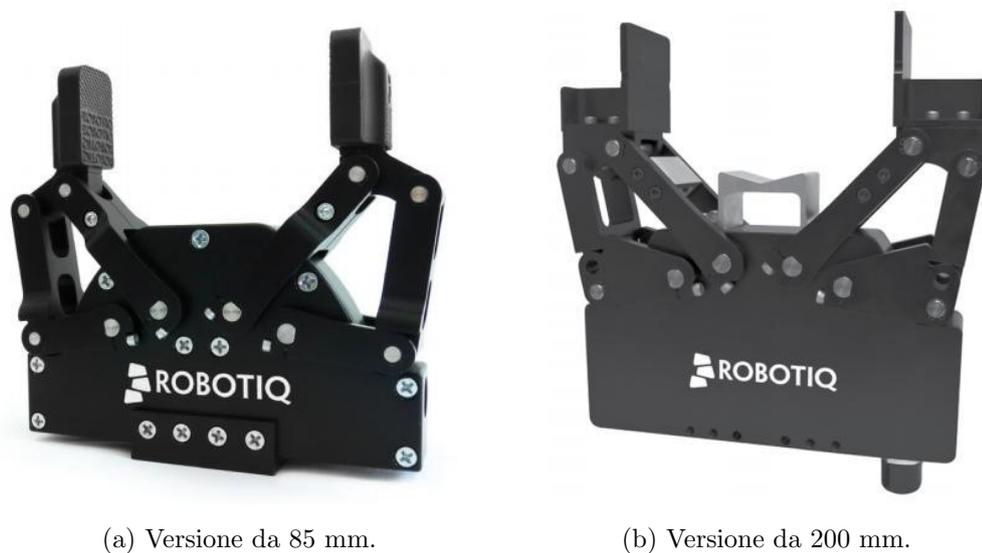


Figura 2.10: I modelli adaptive della Robotiq a due dita.



Figura 2.11: Modello adaptive a tre dita della Robotiq.

2.6 Sommer-Automatic GmbH

Sito web: www.sommer-automatic.com/it/prodotti/componenti/pinze.html

Da decenni questa compagnia lavora nel settore dell'automazione industriale con specializzazione nella produzione di pinze standard per varie applicazioni. Oltre



Figura 2.12: Logo della Sommer-Automatic.

le pinze vengono forniti anche vari accessori per per la robotica industriale come unità lineari e rotanti, componenti per la tecnica del vuoto, supporti e sensori per moduli di presa. La produzione di pinze si suddivide in:

- Pinze ad azionamento pneumatico:
 - Pinze parallele a due griffe universali: serie MGP800 a dimensioni ridotte, serie GP con varie versioni .
 - Pinze parallele a due griffe a corsa elevata: serie MGH8000 ad elevata precisione con tripla guida lineare, serie GH con versioni 6000 con mantenimento della posizione e versione 7000 robusta per carichi pesanti.
 - Pinze a tre griffe concentriche universali: serie MGD800 e serie GD con versione a dimensioni ridotte, versione 300 ad esecuzione robusta e versione 1700 adatta per camere bianche classe 4.
 - Pinze a tre griffe concentriche a corsa elevata: serie GD500 con movimento mediante disco a camme.
 - Pinze angolari a due griffe universali: serie GZ1000 con regolazione dell'angolo di apertura e dita di presa in varie versioni. Serie GG1000 con possibilità di fissaggio laterale delle dita. Serie MGW800 a forza di presa elevata e serie GM con dimensioni compatte.
 - Pinze radiali a due griffe: serie GK ad elevata forza di presa e serie GG4000 a corsa regolabile.
 - Pinze per presa interna: serie LGG a gommini e serie LGS ad espansione.
 - Pinze per presa esterna: serie RG.
 - Pinze ad aghi: serie ST con 20 o 40 aghi e SCH a 4 aghi.

- Pinze per montaggio O-Ring esterno: serie GS.
- Pinze per montaggio O-Ring interno: serie GSI.
- Pinza angolare per alimenti: serie GGL3000 costruita secondo gli standard di igiene.
- Pinze ad azionamento elettrico:
 - Pinze parallele a due griffe universali: serie GEP, versione 9000 economia, versione 1400 ad elevata forza di presa con sistema di sicurezza, versione 1600 a tenuta stagna con disco a camme.
 - Pinze parallele a due griffe a corsa elevata: serie GEH, versione 8000 ad alta resistenza e versione 600 standard con elettronica integrata.
 - Pinze a tre griffe concentriche: serie GED, versione 1300 con elevata forza di presa e versione 1500 per ambienti gravosi.
 - Pinza magnetica: serie HEM1000 a magnete permanente.
- Pinze ad azionamento idraulico: Serie GFP a semplice effetto.

2.7 GMG - Global Modular Grippers



Figura 2.13: Logo della GMG.

Sito web: www.gmg-system.com/en__produkte.php

Questa impresa produce unicamente gripper con tecnologia modulare brevettata. Tra i prodotti troviamo:

- Serie A06 - gripper quadrato: l'unico gripper di questa serie é composto da una base quadrata modulare e collegabile con altre basi della stessa serie. Sulla base possono essere fissate due, tre o quattro dita di presa come

viene descritto dalla Figura 2.14. Il movimento delle dita in apertura e in chiusura può essere combinato, ovvero si può avere apertura e chiusura parallele, apertura parallela e chiusura angolare oppure apertura e chiusura entrambe angolari. Il gripper è adatto per la presa della maggior parte degli oggetti.

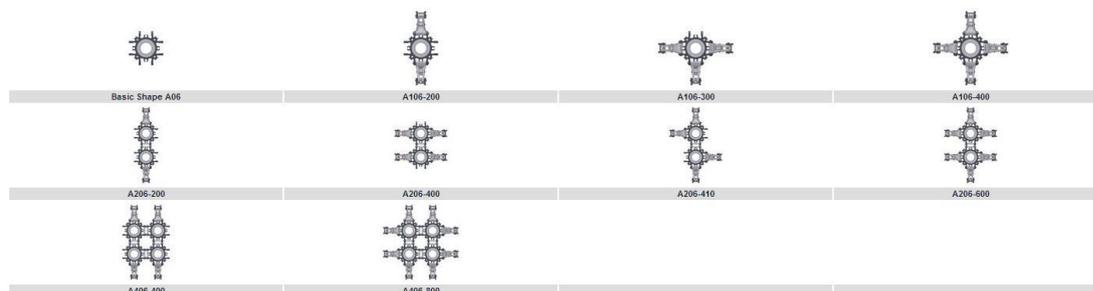


Figura 2.14: Possibili combinazioni delle dita di presa su gripper A06 della GMG.

- Serie B - gripper rettangolari: la serie può essere dotata di un numero di dita compreso tra due e sei, installabili in diverse combinazioni sulla base rettangolare (2x1), le combinazioni possibili sono mostrate in Figura 2.15. Il movimento delle dita in apertura e in chiusura può essere combinato, ovvero si può avere apertura e chiusura parallele, apertura parallela e chiusura angolare oppure apertura e chiusura entrambe angolari. Sono disponibili due taglie, tutte con elevata forza di chiusura e la possibilità di utilizzare dita molto lunghe. La pinza si rende particolarmente adatta per oggetti prismatici.



Figura 2.15: Possibili combinazioni delle dita di presa su gripper B10 della GMG.

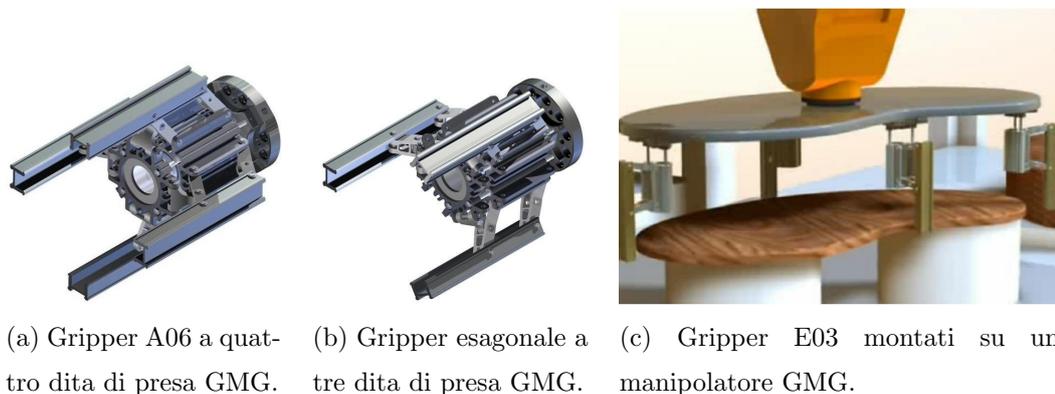
- Serie C - gripper esagonali: la serie può essere dotata dalle due alle sei dita di presa, installabili con qualsiasi combinazione sulla base esagonale, come viene mostrato in Figura 2.16. Il movimento delle dita in apertura e

in chiusura può essere combinato, ovvero si può avere apertura e chiusura parallele, apertura parallela e chiusura angolare oppure apertura e chiusura entrambe angolari. Sono disponibili quattro taglie, tutte con elevata forza di chiusura e la possibilità di utilizzare dita molto lunghe. La pinza si rende particolarmente adatta per afferrare oggetti di forma cilindrica.



Figura 2.16: Possibili combinazioni delle dita di presa su gripper C06 della GMG.

- Serie E03 - gripper a singolo dito di presa: la base del modulo consente il fissaggio di un solo dito di presa. Il movimento dell'unico dito può essere parallelo sia in apertura che in chiusura, parallelo in apertura e angolare in chiusura oppure angolare in entrambe le operazioni. Un esempio di utilizzo è illustrato in Figura ??.



(a) Gripper A06 a quattro dita di presa GMG.

(b) Gripper esagonale a tre dita di presa GMG.

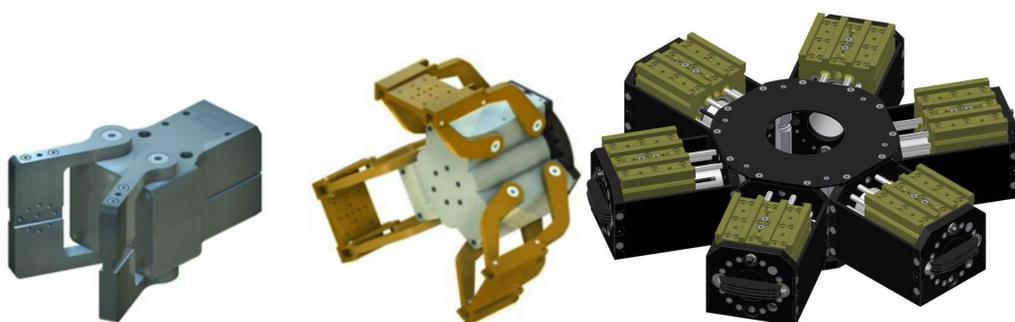
(c) Gripper E03 montati su un manipolatore GMG.

Figura 2.17: Alcuni modelli flessibili della GMG.

- Serie W - gripper radiali a tenuta stagna: la serie conta tre taglie diverse, ognuna con apertura delle griffe a 180° e possibilità di montaggio delle dita per prese in chiusura o in apertura.
- Serie PW - gripper paralleli radiali: Il movimento delle griffe per il serraggio dell'oggetto è parallelo ma in apertura le griffe compiono una rotazione

postandosi fuori l'area di lavoro, in questo modo, come per i gripper radiali, consente al manipolatore di evitare l'arretramento durante lo scorrimento degli oggetti. La serie dispone di due taglie per la versione a due griffe e di una taglia per la versione a tre griffe, tutte a tenuta stagna e ad elevata forza di presa.

- Serie S - gripper paralleli per carichi pesanti: in questa serie sono presenti le versioni a due, tre, quattro e sei dita di presa e la versione modulare a un singolo dito per sistemi di presa specifici. Consentono la presa interna ed esterna degli oggetti, hanno corsa elevata e consentono l'uso di dita molto lunghe fissabili in varie posizioni.



(a) Gripper serie W della GMG. (b) Gripper serie PW a tre dita parallelo/angolare GMG. (c) Gripper a sei dita serie S della GMG.

Figura 2.18: Altri prodotti della GMG.

2.8 AGI Automation Components



Figura 2.19: Logo della AGI.

Sito web: www.agi-automation.com

L'American Gripper Inc. o AGI é una produttrice americana di di moduli per la

robotica industriale. La produzione comprende attuatori lineari e rotanti, sistemi cambio gripper, limitatori di carico e pinze. I gripper prodotti dalla AGI sono esclusivamente ad attuazione pneumatica, tra di essi troviamo i modelli:

- AGPM: micro-pinze a due griffe parallele per piccoli e delicati componenti. Prezzo: 240€.
- AGLP: pinze parallele a due griffe a lunga corsa con design compatto. Prezzo dai 190€ ai 350€.
- AGP(375/500): pinze parallele a due griffe con design ultra-leggero. Prezzo dai 300€ ai 350€.
- AGP(187/250): micro-pinze parallele a due griffe ad elevata resistenza. Prezzo dai 220€ ai 260€.
- AGPT: pinze a due griffe parallele a corsa elevata con design sottile. Prezzo dai 400€ ai 520€.
- AGW: pinze a due griffe parallele a corsa elevata, esecuzione robusta per condizioni gravose. Prezzo dai 330€ ai 1550€.
- AGP(23-83): pinza a tre griffe concentriche per uso universale. Prezzo dai 460€ ai 870€.
- AGA(10-60): pinze radiali a due griffe con angolo di apertura regolabile, per uso universale. Prezzo dai 380€ ai 1350€.
- AGA (23-53): pinze radiali a tre griffe ad apertura regolabile, per uso universale. Prezzo dai 500€ ai 1350€.
- AGPS: pinze parallele ad una griffa mobile, adatte per applicazioni in cui é richiesta una posizione di riferimento fissa. Prezzo dai 180€ ai 240€.

2.9 Schmalz



Figura 2.20: Logo della Schmalz.

Sito web: www.schmalz.com

La compagnia é specializzata in componenti per l'automazione che sfruttano la

tecnica del vuoto. Infatti la scelta degli organi di presa ricade unicamente su gripper astrictive ad aspirazione come i modelli ad eiettore FX/FXC o SBX e i modelli a pompa FM/FMC o SPZ. L'azienda fornisce anche tutti i principali generatori di vuoto e una larga scelta di ventose.



(a) Generatori di vuoto (eiettori) Schmalz.



(b) Gripper SWG ad effetto Bernoulli Schmalz.

Figura 2.21: Alcuni prodotti della Schmalz.

2.10 Altri produttori

- PHD Inc. www.phdinc.com
- Fipa GmbH www.fipa.com
- Röhm www.roehm.biz
- DE-STA-CO <http://www.destaco.com/robohand-grippers.html>
- Numatics www.numatics.com

Capitolo 3

Organi di presa flessibili

3.1 Introduzione ai sistemi F-FAS

I sistemi automatizzati di assemblaggio industriale sono una tipica applicazione dove viene richiesto l'uso intensivo di organi di presa e manipolazione. Nella realtà odierna, per mantenere alte competitività di mercato, le industrie sono portate ad adottare sistemi di produzione flessibili. Questo é dovuto principalmente al fatto che la produzione varia rapidamente sia in termini di quantità che per tipologia di prodotti.

Per questo motivo molte industrie si affidano a sistemi di assemblaggio flessibile (FAS), i sistemi di questo tipo mirano a soddisfare dei requisiti base per l'ottimizzazione della produzione:

- *Flessibilità.* La possibilità di manipolare un'ampia varietà di componenti attraverso organi adattabili o rapidamente intercambiabili e l'abilità di operare contemporaneamente su diversi processi.
- *Compattezza.* Limitare l'ingombro e lo spazio richiesto dai singoli componenti nella cella di lavoro.
- *Throughput.* Il numero di parti assemblate nell'unità di tempo.
- *Costo di produzione.* Il rapporto tra costo orario della produzione e quantità di parti prodotte.

Nei classici sistemi FAS la flessibilità viene garantita da un manipolatore programmabile e altri sottosistemi di lavorazione flessibile. Tuttavia variazioni degli oggetti da manipolare influiscono pesantemente su tutto il processo, causando rallentamenti della produzione e introducendo nuovi costi per gli adattamenti.

Maggiore flessibilità si ottiene con sistemi di assemblaggio manuali. Il lavoro umano però è soggetto a variazioni di qualità e quantità di produzione e necessita di una tutela dei fattori fisiologici e igienici degli operatori.

La nuova generazione di sistemi di assemblaggio, *fully flexible assembly systems* (F-FAS), hanno il massimo grado di flessibilità. La cella di lavoro tipica è composta da un sistema di visione per l'identificazione dei componenti, una o più stazioni di assemblaggio e un manipolatore programmabile che si auto-adatta per le specifiche operazioni grazie al feedback del sistema di visione. Il manipolatore deve essere dotato di un organo di presa flessibile per poter manipolare e assemblare il maggior numero di componenti possibili tra quelli rilevati dal sistema di visione.

La flessibilità del sistema di presa può essere ottenuta attraverso l'impiego di sistemi di cambio gripper manuali o automatici, inserendo nella cella di lavoro una stazione per la sostituzione del terminale, oppure si possono utilizzare gripper flessibili e adattabili alla forma del componente da manipolare. L'ultima soluzione richiama l'utilizzo di mani robotiche (alti costi e controllo complesso) o gripper flessibili di nuova progettazione. La Figura 3.1 riporta indicativamente la quantità di oggetti diversi prendibili con i diversi sistemi. Per rendere un gripper flessibile si può generalmente agire in due modi:

- Aggiungendo gradi di libertà all'organo di presa (corsa variabile, movimento misto delle dita di presa).
- Permettere alle dita di presa di adattarsi a più oggetti possibili (*multi-point fingers*, dita a geometria variabile, dita flessibili)

Per approfondimenti su sistemi F-FAS e confronti tra i sistemi di assemblaggio consultare [10] e [11]

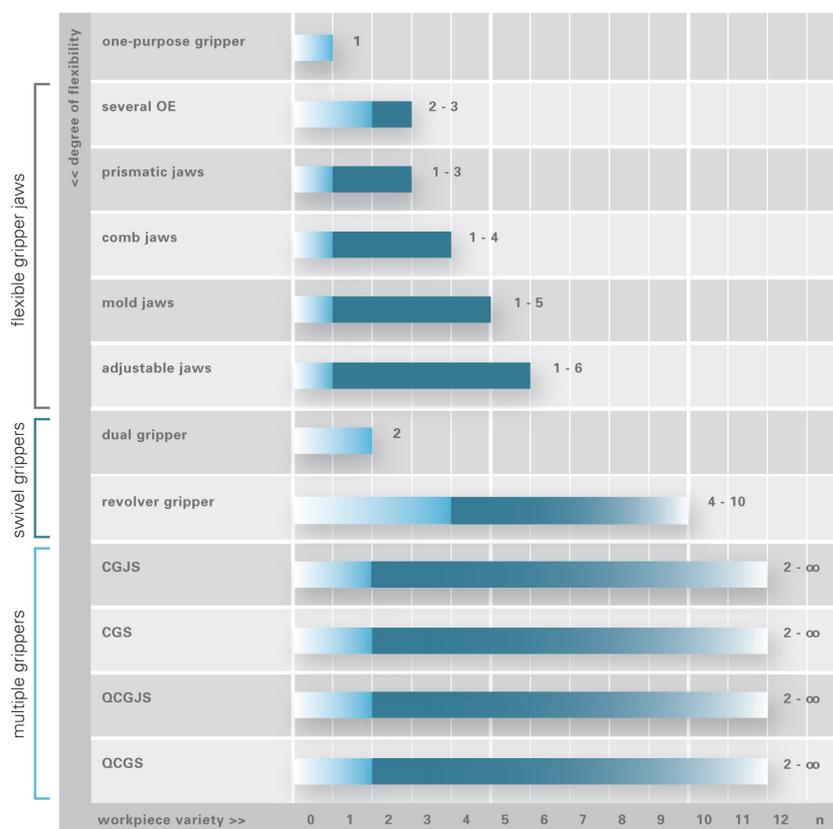


Figura 3.1: Oggetti prendibili per sistema flessibile. CGJS cambio griffe manuale; CGS cambio gripper manuale; QCGJS cambio griffe automatico; QCGS cambio gripper manuale [2].

3.2 Sistemi di cambio pinze o griffe

Per rendere piú flessibile un processo di presa automatizzato, senza l'utilizzo di costose mani robotiche o nuove tipologie di gripper, un metodo efficace é la sostituzione manuale o automatica dei moduli di presa o semplicemente delle dita. La prima soluzione sfrutta il concetto di *multiple grippers* cioè un sistema dotato di piú moduli di presa che possono lavorare indipendentemente o sincronizzati tra loro per la presa di uno o piú oggetti. In queste unitá non c'è una vera sostituzione del gripper, ma vengono messi a disposizione un certo numero di pinze e in base all'oggetto o all'applicazione viene scelto quello piú opportuno. Per la realizzazione di sistemi di presa multipli si utilizzano supporti girevoli (*turrets* o *swivel heads*) fissati al polso del manipolatore, sui quali sono installati piú moduli

di presa. Le pinze possono essere identiche oppure differenti per la presa di oggetti di varie forme. Questa soluzione é prevalentemente usata in applicazioni di assemblaggio, specialmente per la movimentazione di oggetti piccoli e leggeri. La selezione del gripper adatto avviene con una rotazione del supporto. Il movimento solitamente si compie in meno di un secondo, tuttavia la rotazione é sequenziale quindi per la selezione di un gripper non adiacente al corrente occorrono piú passaggi. Questa unitá consente ad ogni modulo di presa di mantenere un oggetto contemporaneamente, permettendo cosí di minimizzare lo spreco di tempo nelle operazioni. Data la presenza di numerosi organi di presa in uno spazio ristretto la possibilitá di collisioni aumenta, per questo i movimenti e le dimensioni dei pezzi devono essere limitati e il manipolatore dotato di opportuni sistemi di protezione. L'unita dispone di tutti i connettori per l'alimentazione separata dei singoli gripper e per il flusso delle informazioni di controllo .



Figura 3.2: Modulo per cambio gripper SWS della Schunk [8].

Una seconda soluzione per la flessibilitá sono i sistemi cambio gripper (*Gripper changing systems*), di cui la Figura 3.2 ne da un esempio. Questa alternativa permette di compiere molte diverse operazioni successive nella stessa cella di lavoro, con diversi terminali. Il sistema di cambio gripper connette un organo di presa (piú in generale un end-effector) al polso del manipolatore robotico. Il collegamento assicura la trasmissione di forze e momenti per la movimentazione, la connessione con l'alimentazione per i componenti e il flusso di informazioni per il controllo.

Ogni interfaccia ha connettori opportuni per l'alimentazione e il controllo. L'accoppiamento meccanico é realizzato attraverso meccanismi semplici che garantiscono robustezza, sicurezza e una rapida sostituzione, le tipologie di meccanismi sono approfondite in [1]. Nelle versioni automatiche le operazioni di aggancio e sgancio vengono azionate da elementi elettrici, pneumatici oppure meccanicamente bloccando l'organo di presa e compiendo specifici movimenti con il braccio robotico. Un sistema di cambio gripper é composto da una flangia interconnessa con il manipolatore e da una flangia di connessione per ogni pinza, inoltre richiede una stazione per il deposito dei vari terminali. La sostituzione automatica solitamente richiede dai due ai sette secondi in base alle caratteristiche del sistema. Se l'applicazione ha una bassa frequenza di sostituzione delle pinze, un'alternativa economica al cambio gripper automatico é il cambio gripper manuale. L'unitá é composta, come per la versione automatizzata, di una flangia per il manipolatore e una flangia per ogni gripper. Le azioni per la sostituzione sono puramente meccaniche con sistemi di fissaggio a gancio. Il tempo per un cambio gripper ovviamente dipende dall'operatore e dal tipo di pinza da sostituire, infatti alcune pinze universali possono essere anche molto grandi e pesanti, rendendo difficoltosa la sostituzione.

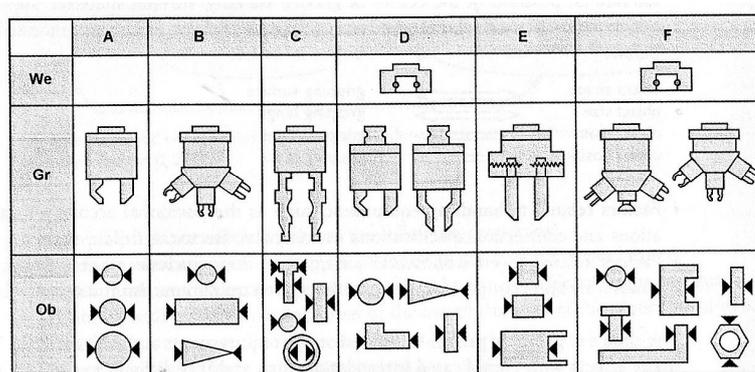


Figura 3.3: Esempio di flessibilitá crescente con l'utilizzo di diversi moduli e diverse dita di presa [1].

Nel caso il cambio del gripper non sia economicamente sostenibile oppure é inefficiente, si puó ricorrere alla scelta di sostituire manualmente o in modo au-

tomatizzato le sole dita di presa. Questo sistema garantisce un certo grado di flessibilità ma la sostituzione automatica é raramente usata a causa dell'elevata complessità e quella manuale richiede un tempo proporzionale all'abilità dell'operatore. Le dita così come le griffe devono essere adattate per questa soluzione, infatti vengono unite attraverso degli appositi perni o bulloni di fissaggio. Nei processi automatizzati la sostituzione può avvenire in modo dinamico (*flying exchange*) oppure attraverso una stazione fissa di ricambio. Il disegno delle dita spesso fa la differenza sulla quantità di oggetti afferrabili dal gripper. Letteratura al riguardo si trova in [1] e [2]. L'esempio C della Figura 3.3 illustra un gripper con dita disegnate per la presa di più oggetti con varie forme (multi-point gripper).



Figura 3.4: Modulo per cambio rapido delle dita di presa BSWS della Schunk [8].

3.3 Hand grippers

Le mani robotiche (dextrous hands) raggiungono il massimo grado di flessibilità grazie alla versatilità delle dita di presa multi-giunto. Tuttavia l'impiego di questi organi di presa nelle applicazioni industriali é ancora molto limitato a causa dei lenti tempi di risposta e agli eccessivi costi. Esistono due tipi di mani artificiali di presa: le mani modulari e le mani integrate. Le mani modulari sono adattabili ad ogni manipolatore, al loro interno integrano sistemi di sensori e i componenti per l'azionamento, la forza di presa é inferiore rispetto quella generata dalle mani integrate e hanno dimensioni generalmente superiori alla mano umana. Le mani integrate invece sono unite ai bracci robotici, la sensoristica e i sistemi di azionamento sono esterni alla mano, solitamente integrati nel braccio. Riescono a produrre alte forze di presa e hanno dimensioni comparabili alle mani umane. Tutte le tipologie di mani robotiche sono caratterizzate da un alto numero di

gradi di libertà e da una rete di sensori molto complessa.

Il documento non tratta in dettaglio le caratteristiche tecniche e costruttive delle mani robotiche, per approfondimenti consultare i testi [1] e [2]. A titolo informativo vengono riportati alcuni esempi di mani robotiche sviluppate nel corso degli anni.

Stanford/JPL Hand

- Tipologia: modulare
- Numero dita: 3
- Numero giunti: 9
- Gradi di libertà: 9
- Palmo: no
- Dimensione rispetto una mano umana: uguale
- Sensori: encoder per ogni motore, strain gauges, sensore tattile ad array 8×8 sulla punta delle dita
- Riferimenti: Salisbury, Stanford University, 1983

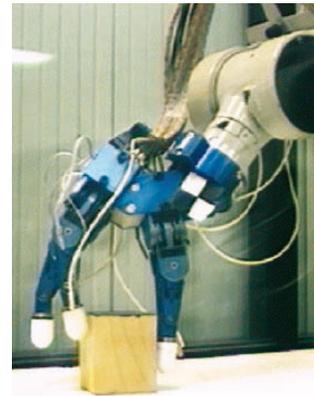


Figura 3.5: Stanford Hand (Dati raccolti da [2]).

Barret Hand

- Tipologia: modulare
- Numero dita: 3
- Numero giunti: 8
- Gradi di libertà: 4
- Palmo: si
- Dimensione rispetto una mano umana: uguale
- Sensori: encoder per ogni motore, strain gauges sulla punta delle dita.



Figura 3.6: Barret Hand (Dati raccolti da [2]).

- Riferimenti: W.T. Townsend, Barrett Technology Inc., 1988

Robonaut Hand

- Tipologia: integrata
- Numero dita: 5
- Numero giunti: 22
- Gradi di libertà: 14
- Palmo: sì
- Dimensione rispetto una mano umana: uguale
- Sensori: sensori di posizione sui giunti, encoder per ogni motore, sensori tattili.
- Riferimenti: C.S. Lovhik, M.A. Diftler; NASA, 1999



Figura 3.7: Robonaut Hand (Dati raccolti da [2]).

SDH - Schunk Dextrous Hand

- Tipologia: modulare
- Numero dita: 3
- Numero giunti: 9
- Gradi di libertà: 7
- Palmo: no
- Dimensione rispetto una mano umana: maggiore
- Sensori: encoder assoluti per ogni motore, strain gauges sulla punta delle dita.
- Riferimenti: Germany, Schunk GmbH & Co., 2007



Figura 3.8: Schunk Hand (Dati raccolti da [8]).

Robotiq Adaptive Hand

- Tipologia: modulare
- Numero dita: 3
- Numero giunti: 9
- Gradi di libertà: 4
- Palmo: sì
- Dimensione rispetto una mano umana: maggiore
- Sensori: encoder per ogni motore, strain gauges, sensori di posizione e sensori tattili per ogni dito.
- Riferimenti: Canada, Robotiq Inc., 2008



Figura 3.9: Robotiq Hand (Dati raccolti da [12]).

3.4 Gripper flessibili

La ricerca nel campo dello sviluppo tecnologico degli organi di presa mira sempre più ad un organo universale flessibile, in grado di afferrare oggetti di forma qualsiasi senza danneggiarli. Sono state progettate numerose versioni gripper flessibili, alcune sono già in commercio, altre sono in via di sviluppo mentre alcune strade sono state abbandonate. In seguito sono riportati solo alcuni esempi interessanti e innovativi.

Un gripper innovativo ad esempio è il modello DHDG (Figura 3.10), commercializzato dalla *Festo AG & Co.KG*. Il gripper ha un azionamento pneumatico e tre dita adattabili. La caratteristica principale sono appunto le dita di presa, sfruttano la tecnologia *Fin Ray Effect*[®] che permette di adattarsi alla forma dell'oggetto da serrare. La struttura è basata su due bande flessibili unite per formare un triangolo; internamente sono collegate a intervalli regolari da altre bande attraverso giunti. Questa tecnologia permette la presa sicura di oggetti di varia forma senza danneggiamenti. Inoltre le dita sono facilmente intercambiabili e adatte per funzionare con alcuni modelli della stessa casa produttrice.



Figura 3.10: Gripper a dita flessibili Festo-DHDG con tecnologia *Fin Ray Effect*[®] [9].

Il modulo di presa pneumatico GM (Figura 3.11) della *Schunk GmbH & Co.* invece unisce la presa angolare con lo spostamento parallelo delle griffe. Infatti il gripper per piccoli componenti consente un'apertura delle griffe dai 60° ai 180° con possibilità di movimento lineare delle griffe con corsa fino ai 2mm. Questa caratteristica consente di afferrare componenti di dimensioni comparabili ma a forma variabile [8].

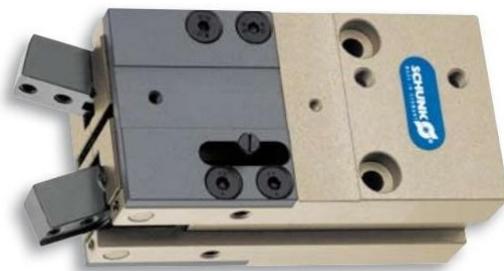


Figura 3.11: Modulo di presa a movimento parallelo-angolare GM della Schunk [8].

Un altro gripper che consente flessibilità di presa è il modulo a due dita, ad azionamento elettrico, della *Robotiq* (Figura 3.12). Questa pinza permette la presa force-fit parallela, angolare e form-fit (encompassing grip) grazie alle dita multigiunto. Il gripper integra numerosi sensori che lo rendono molto sensibile e preciso. Tuttavia le dimensioni e il peso lo rendono poco adatto per piccoli componenti.

Un gripper completamente innovativo è stato proposto da *J.R. Amend, E. Brown, N. Rodenberg, H.M. Jaeger e H. Lipson* nel documento [13]. Il documento

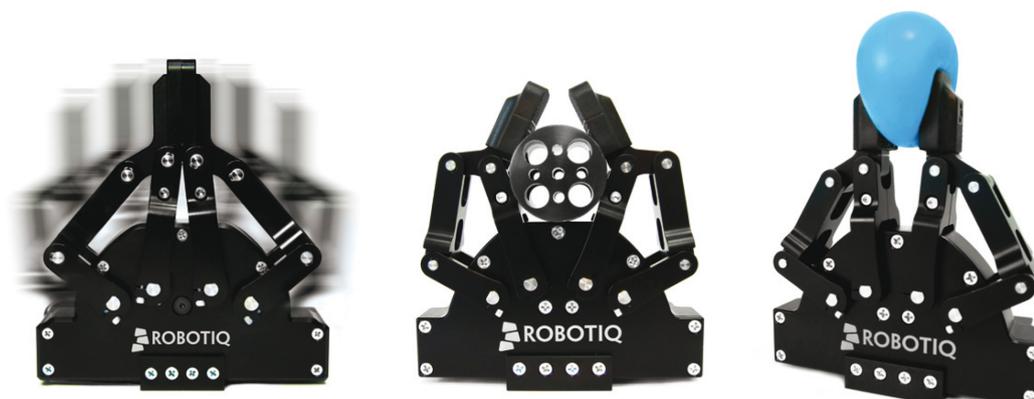


Figura 3.12: Adaptive gripper a due dita per presa parallela, encompassing e finger-tip della Robotiq [12].

descrive un organo di presa (Figura 3.13) la cui struttura principale é composta da una massa di materiale granulare raccolta in una membrana elastica. La presa degli oggetti dopo il contatto avviene creando una pressione negativa all'interno della membrana, questo consente al materiale granulare di adattarsi alla forma dell'oggetto permettendo il serraggio. Il rilascio degli oggetti avviene esercitando una pressione positiva e quindi espandendo la membrana, la quale perde la forma precedentemente assunta per il grasping dell'oggetto, rilasciandolo. Con questo tecnologia il gripper puó afferrare piú oggetti contemporaneamente mantenendo l'orientamento e le posizioni relative.

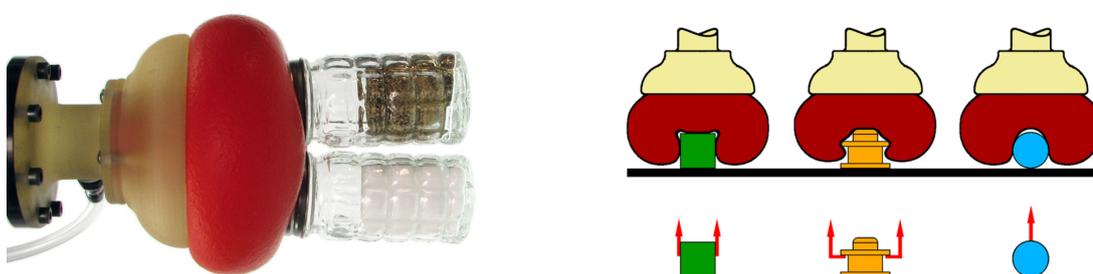


Figura 3.13: Prototipo del gripper a materiale granulare in fase di presa [13].

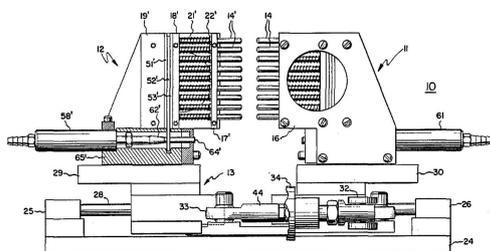
Nel centro ricerche della *ABB AG* sono stati sviluppati dei prototipi di gripper flessibili adatti per applicazioni di assemblaggio automatico. Il gripper descritto nel documento [14] é composto da due dita di presa a giunti flessibili, con mo-

vimento parallelo ad attuazione elettrica e da un secondo modulo pneumatico interno al gripper per la generazione locale del vuoto. Necessita di un'unità di controllo esterna e dispone di connessioni Ethernet e JTAG.

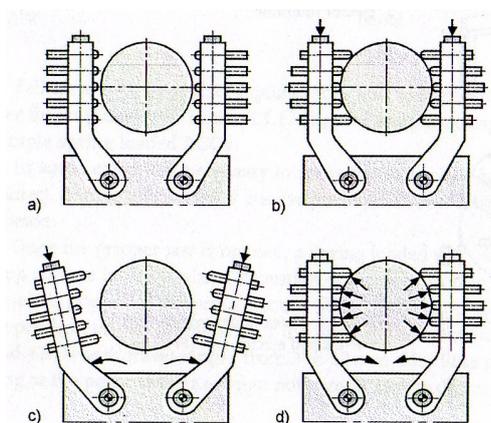


Figura 3.14: Prototipo montato su robot a due bracci [14].

Un primo sistema per gripper a dita di presa adattabili é stato brevettato nel 1986 da *T.M. Cipolla (US Patent 4572564)* (Figura 3.15 (a)). Si tratta di un gripper pneumatico a movimento parallelo composto da particolari griffe formate da una matrice di perni paralleli semovibili tramite l'azione di molle. I perni inizialmente tutti estesi vengono compressi in proporzione alla forma dell'oggetto da afferrare e mantengono tale posizione anche al rilascio dell'oggetto. Un meccanismo permette di riportare i perni nella posizione di partenza. Un esempio simile con apertura angolare é proposto in [1] (Figura 3.15 (b)).



(a) Brevetto US 4572564.



(b) Gripper con dita adattabili a movimento angolare [1].

Figura 3.15: Gripper flessibili a dita adattabili.

Un prototipo di gripper a due gradi di libertà é descritto in [15]. Il documento descrive un prototipo di gripper con movimento delle dita di presa sia parallelo che angolare. I due movimenti sono stati pensati indipendenti tra loro e auto adattivi. La pinza é composta da una struttura rigida e articolata tramite giunti cedevoli. L'innovazione di questo gripper é anche l'attuazione, ovvero fili Ni-Ti SMA - Shape Memory Alloy (principio in [16]). La movimentazione parallela viene attuata dalla contrazione di una molla, mentre quella angolare dalla contrazione di due fili connessi alle griffe. Questa tecnologia permette di avere dimensioni e pesi molto ridotti.

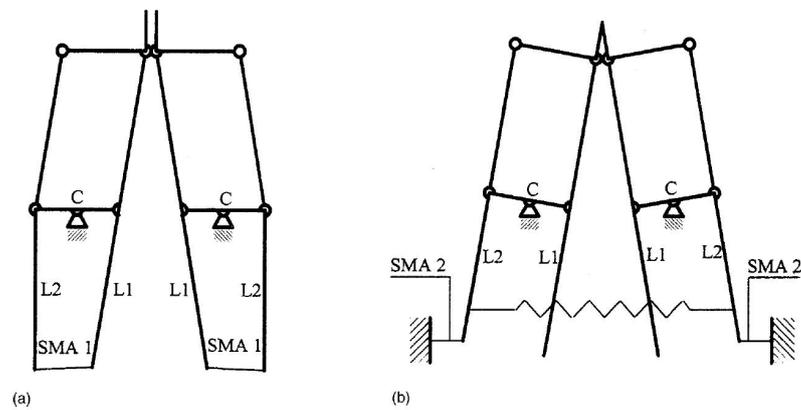


Figura 3.16: Schema cinematico del gripper. a)parallelo b)angolare [15].

Capitolo 4

Scelta di un organo di presa

Un metodo universale per la selezione dell'organo di presa idoneo, valido per ogni tipo di applicazione é impensabile e impossibile da realizzare. Questo perchè le molteplici applicazioni hanno sempre requisiti diversi che i gripper devono soddisfare, la varietà di pezzi, le condizioni ambientali e soprattutto il fattore economico influiscono pesantemente nella scelta dell'organo di presa.

Detto ciò il documento non vuole quindi fornire un metodo universale di scelta ma si limita a dare delle linee guida e delle considerazioni per una possibile scelta dell'organo di presa adatto alle particolari esigenze.

In [1] viene riportato un elenco di domande tipiche a cui bisogna rispondere per giungere alla selezione del gripper desiderato, nel complesso le domande identificano 8 fasi:

1. Conoscenza delle proprietà dell'oggetto.
2. Conoscenza delle condizioni di lavoro.
3. Scelta di una tipologia di presa e disegno delle dita di presa.
4. Stima delle forze di presa necessaria e dei valori di carico massimi per quell'oggetto.
5. Verifica requisiti di protezione, sicurezza, connessioni e controlli.
6. Scelta del gripper.
7. Scelta accessori.
8. Controllo che le scelte soddisfino tutti i requisiti, compresi quelli economici.

I produttori mettono a disposizione molte tipologie di pinze per soluzioni generali o piú specifiche. Alcune considerazioni possono essere fatte in base alle risposte alle domande sopra citate:

- Se al punto 3) o al punto 6) non si riesce a trovare risposta, probabilmente l'applicazione necessita di un gripper con design completamente nuovo e personalizzato. In questo caso possono essere seguite le procedure per la progettazione di un gripper su misura consigliate in [1] e in [3].
- Nel caso invece la geometria dell'oggetto sia molto complessa e richieda particolari dita o metodi di presa, esistono molti algoritmi per il calcolo dei punti di contatto ottimi (due algoritmi sono riportati in [17]).
- Per applicazioni specifiche (industria tessile, alimentare, dei semiconduttori, movimentazioni di lastre, ...) solitamente la scelta ricade su gripper non impattivi o gripper progettati unicamente per quello scopo. Alcuni esempi sono:
 - Nel campo alimentare la manipolazione di alimenti deve rispettare la normativa sull'igiene UNI EN 1672-2:2009. Per questo i costruttori mettono a disposizione gripper specifici, come nel caso della pinza pneumatica LMG della Schunk oppure della serie GGL3000 della Somme-Automatic. Un'altra soluzione é l'utilizzo di gripper a contatto limitato ad effetto Bernoulli [18].
 - Nell'industria dei semiconduttori la soluzione ricade su gripper ad aspirazione o a ventosa per la movimentazione di pannelli solari e fotovoltaici (es: prodotti Schmalz), mentre per la presa e il trasporto di wafer di semiconduttore si possono utilizzare gripper ad effetto Bernoulli (non trattati nel documento) oppure gripper elettroadesivi dimensionati come descritto nel Capitolo 1.5.3 e approfondito in [1].
 - Per la movimentazione di grandi barre e pannelli, rigidi o semirigidi é possibile utilizzare gripper ad aspirazione, oppure solo nel caso di materiali ferromagnetici si possono impiegare gripper magnetici o elettromagnetici dimensionati come nel capitolo 1.5.2 e approfonditi

in [1]. Un'altra soluzione consiste nell'utilizzare piú gripper impactive in parallelo, generalmente si utilizzano gripper a due griffe angolari con dita di presa piatte oppure moduli a singolo dito di presa come in Figura 2.17 (c).

Il numero di moduli necessari per la presa n può essere calcolato tramite $n = \frac{F_{tot}}{F_0}$ come spiegato in [1], dove F_{tot} é la forza totale richiesta per la movimentazione, considerando anche accelerazioni dovute agli spostamenti e F_0 é la forza di presa teorica di un singolo modulo.

- Nell'industria tessile possono essere impiegate molte tipologie di gripper per ognuna con diversi vantaggi e svantaggi, le principali caratteristiche sono riassunte nella tabella di Figura 4.1 (per approfondimenti consultare riferimenti su [1]).

	 intrusive prehension	 ingressive prehension	 impactive prehension	 astriptive prehension	 contigutive (chemical) prehension	 contigutive (thermal) prehension
gripper reliability						
damage free grip						
retention force						
material flexibility						
workpiece flexibility						
grip velocity						
environmental dependence						

Figura 4.1: Confronto tra varie tipologie di gripper per la presa di materiali tessili (cerchio pieno=favorevole, cerchio vuoto=non favorevole) [1].

- In presenza di ampia varietà di pezzi da manipolare, come nel caso di assemblaggio nei sistemi FAS e F-FAS si può ricorrere all'utilizzo di sistemi

flessibili del Capitolo 3. In particolare le soluzioni sono piú o meno economiche in relazione alle necessitá. Nella Tabella 4.1 sono classificate in base alla frequenza di lavoro del sistema, una bassa frequenza di lavoro é indice di un moderato livello di automatizzazione o di varietá di pezzi limitata.

Frequenza di lavoro	Soluzione Economica	Soluzione Intermedia	Soluzione Costosa
Bassa	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio dita manuale • Multi-point gripper 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio gripper manuale <ul style="list-style-type: none"> • Multi-gripper • Gripper flessibile 	<ul style="list-style-type: none"> • Mano robotica • Cambio gripper automatico
Alta	<ul style="list-style-type: none"> • Multi-point gripper 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio gripper automatico <ul style="list-style-type: none"> • Cambio dita automatico • Gripper flessibile • Multi-gripper 	<ul style="list-style-type: none"> • Mano robotica

Tabella 4.1: Possibili soluzioni per applicazioni flessibili.

- Per tutti gli altri casi, ovvero in presenza di un unico modello di oggetto da movimentare, le tabelle in Appendice D descrivono la compatibilitá tra i principali organi di presa e le caratteristiche dell'oggetto da afferrare. Le tabelle sono puramente indicative poichè ad ogni gripper (impactive) vanno associate le dita di presa che possono avere varie forme adattate per la presa di determinati oggetti, secondo [1] e [2] le principali strutture sono:
 - Dita a superficie piana (*flat fingers*): adatte per la presa di oggetti prismatici o oggetti con due superfici piane parallele, consente la presa anche di dischi, cilindri e sfere ma il contatto é solo su un punto con conseguenti svantaggi giá descritti.
 - Dita prismatiche (*prismatic fingers*): possono essere ad incavo angolare o circolare, consentono la presa di oggetti a disco, prismatici, cilindrici, sferici.
 - Multi-point gripper (*mold fingers*): le dita sono modellate, lungo la superficie interna e esterna, per adattarsi a tre o quattro geometrie diverse; ad esempio possono unire una porzione piana, una porzione prismatica angolare e una circolare come nella Figura 3.3(C).
 - Dita flessibili (*adjustable fingers*): sono dita con la capacitá di adattarsi alla forma dell'oggetto da prendere, possono essere dotate di elementi

cedevoli come ?? oppure avere una struttura flessibile come i gripper in Figura 3.10 e 3.12.

Nel testo [2] viene fornita una semplice formula per il confronto di gripper impactive:

$$C = \frac{F \cdot s}{W} \quad [Nm/Kg] \quad (4.1)$$

dove F é la forza di presa, s é la corsa massima delle griffe e W é il peso del gripper. Naturalmente il gripper che ottiene il valore di C maggiore é piú conveniente dal punto di vista delle prestazioni, la formula infatti non ci dice nulla sul prezzo.

Conclusioni

Il documento evidenzia l'ampia varietà di gripper per applicazioni industriali. Questo significa che quasi sempre è possibile trovare un organo di presa adatto per l'applicazione considerata. I costruttori forniscono modelli per ogni fascia di lavorazione, naturalmente le prestazioni e la flessibilità sono proporzionali al prezzo. Organi poco costosi hanno cinematiche meno precise e consentono la presa di un numero limitato di oggetti, moduli molto costosi garantiscono stabilità e precisione. Salendo ancora di prezzo si riescono ad ottenere elevati gradi di flessibilità e complessità, aumentando il numero di oggetti diversi prendibili.

L'elevato grado di automatizzazione nelle industrie, come la nascita delle celle di assemblaggio completamente robotizzate, spinge la ricerca verso lo sviluppo di nuove tecnologie dotate di ampia flessibilità e adattabilità, cercando di mantenere costi e complessità accessibili dalla maggior parte degli utenti.

Appendice A

Tabella commerciale

Le tab. [A.1](#) e [A.2](#) riportano i principali parametri tecnici di gripper impactive di alcune case costruttrici mondiali, rispettivamente la prima tabella comprende pinze pneumatiche a due griffe parallele e a tre griffe concentriche, la seconda tabella continua con gripper pneumatici angolari e radiali, gripper elettrici e idraulici.

Legenda:

- ATT: tipo di azionamento
- MOD: modello della pinza
- COSTR: costruttore
- PNM: azionamento pneumatico
- ELT: azionamento elettrico
- IDC: azionamento idraulico
- PAR: movimento griffe parallelo
- CONC: movimento griffe concentrico
- ANG: movimento griffe angolare
- RAD: movimento griffe radiale
- MISC: presa mista (parallela, encompassing, fingertip)
- univ: gripper universale
- sealed: gripper a tenuta stagna
- heavy duty: gripper ad esecuzione robusta
- small obj: gripper per piccoli oggetti
- long stroke: gripper a corsa elevata

ATT.	TIPO	n	USO	COSTR.	MOD.	TAGLIA	DATI TECNICI PRINCIPALI						
							F [N]/M [Nm]	S [mm]/ α [°]	rip. [mm]	W [kg]	t_0 [s]	t_c [s]	
PNM	PAR	2	univ.	Gimatic	GM	10-103	70-2400	2,6-20,5	0,02	0,07-1,7	0,03-0,14	0,03-0,14	
						2012/2518	120/180	5,8/8,8	0,02	0,144/0,270	0,007/0,018	0,007/0,018	
						12-40	50-620	4-15	0,02	0,094-1,135	0,02-0,12	0,02-0,12	
						MGX	180-1660	2,5-15	0,02	0,095-1,525	0,007-0,14	0,007-0,14	
						Schunk	PGN-Plus	123-21800	2,5-45	0,01-0,05	0,08-39,5	0,02-0,8	0,02-0,8
							JPG	123-2210	2,5-16	0,01	0,08-3,3	0,02-0,25	0,02-0,25
						Festo	PGB	90-610	4-10	0,01	0,28-1,32	0,02	0,02
							PGM	30-1180	2-15	0,02	0,025-2,55	0,03-0,12	0,03-0,12
						Festo	DHPS	16-35	25-970	0,02	0,019-1,345	0,008-0,131	0,017-0,0151
							HGPT-B	16-80	106-6550	0,01-0,025	0,085-6,287	0,008-0,379	0,01-0,353
						Schunk	HGP	6-35	20-750	0,04	0,018-1,387	0,005-0,09	0,005-0,082
							HGPC	12/16/20	44-126	0,05	0,152-0,477	0,03-0,09	0,03-0,105
Schunk	MPG	10-80	9-540	0,02	0,01-1,35	0,01-0,06	0,01-0,0,6						
	KTG	50	13	0,02	0,08	0,05	0,05						
Festo	KGK	60-280	45-540	0,02-0,1	0,09-4,2	0,03-0,25	0,03-0,29						
	RH	801-9010	13-460	0,01-0,02	0,04-1,1	0,06-0,5	0,06-0,5						
Festo	HGPP	10-32	80-830	-	0,126-1,438	0,022-0,103	0,032-0,173						
	HGPM	8/12	16/35	-	0,011-0,062	0,002-0,011	0,0023-0,0083						
Schunk	SX	2510-6380	390-3400	0,05	0,26-3,5	0,03-0,3	0,03-0,3						
	DPG-Plus	40-200	110-5940	0,01-0,02	0,12-9,5	0,03-0,8	0,03-0,8						
Festo	HGPD	16-80	94-3992	0,03-0,05	0,1-7,484	0,015-0,38	0,015-0,353						
	Schunk	SH	6360-80150	1600-2500	0,02	2,6-9	0,2-0,6	0,2-0,6					
Festo		PFH	150-300	2200	0,02	18,9-33,6	0,7-1,25	0,7-1,25					
	PSH	22-52	320-1760	0,05-0,1	0,77-8,05	0,08-0,4	0,08-0,4						
Schunk	HGPL	14/25/40	120-1210	0,03	0,44-4,8	0,104-0,414	0,086-0,438						
	SPG	100	10000	0,1	35	1,5-3	1,5-3						
Schunk	PZN-Plus	40-300	225-35500	0,01	0,13-46	0,02-2,5	0,02-2						
	JGZ	40-160	255-8480	0,01-0,02	0,012-8	0,02-0,8	0,02-0,8						
Festo	PZB-Plus	50-160	340-5400	0,01-0,02	0,26-7,3	0,02-0,8	0,02-0,8						
	DHDS	16/32/50	87-840	0,04	0,096-0,932	0,026-0,073	0,034-0,055						
Schunk	HGDT	25-63	207-4456	0,03	0,185-2,543	0,02-0,17	0,025-0,3						
	MPZ	16-45	20-310	0,01	0,01-0,29	0,02-0,05	0,02-0,05						
Festo	DPZ-Plus	40-200	230-16500	0,01-0,05	0,2-2,1	0,03-1,8	0,03-1,8						
	HGDD	35-80	336-2829	0,03-0,05	0,309-4,788	0,038-0,16	0,042-0,246						
Schunk	PZV	64-200	570-6900	0,01-0,02	0,5-10	0,02-0,15	0,02-0,15						

Tabella A.1: Dati tecnici di alcuni modelli commerciali pneumatici a griffe parallele.

ATT.	TIPO	n	USO	COSTR.	MOD.	TAGLIA	DATI TECNICI PRINCIPALI						
							F [N]/M [Nm]	S [mm]/ α [°]	rip. [mm]	W [kg]	t_o [s]	t_c [s]	
PNM	ANG	2	univ.	Gimatic	AA	25-NO	2,5	14	-	0,105	0,02	0,02	0,02
					LGW	10-40	0,22-11,2	20	0,02	0,042-0,845	0,02-0,09	0,02-0,06	
					Schunk	PWG-S	40-80	5,98-50,82	20	0,05	0,21-1,2	0,01-0,05	0,01-0,05
						PWG	65-230	6,44-934,2	20	0,05	0,33-16,3	0,02	0,01
					Festo	HGWC	12/16/20	0,22-1,44	15-40	0,05	0,2-0,7	0,05-0,09	0,035-0,075
						DHWS	10-40	0,3-1,5	20	0,04	0,04-0,8	0,01-0,1	0,022-0,096
					Schunk	SGB	32-50	0,9-4,95	8	0,1	0,04-0,06	0,04-0,05	0,06-0,08
						SWG	10-50	0,01-2,8	15	0,05	0,0025-0,213	0,02-0,06	0,015-0,03
					Festo	HGWM	8/12	0,22-0,76	3,5-20	-	0,013-0,075	0,001-0,004	0,0012-0,0028
						PN	010-040	0,01-6,51	19	0,1	0,032-1,04	0,02-0,1	0,02-0,1
	RAD	2	univ.	small obj.	Schunk	SGW	40-64	1,35-7,45	8	0,1	0,05-0,17	0,03	0,02
						LGR	10-40	0,3-15	90	0,02	0,07-1,27	0,08-0,31	0,07-0,21
				Schunk	PRG	26-125	2-295	30/60/90	0,05-0,1	0,13-6,72	0,03-0,92	0,03-75	
					DHRS	10-40	0,15-7,52	90	0,1	0,044-0,844	0,035-0,151	0,091-0,142	
				Gimatic	GX-S	10-25	0,52-8	90	0,05	0,07-0,510	0,04-0,08	0,04-0,08	
					DRG	44-100	8,2-143	90	0,1	0,5-4,46	0,5-0,6	0,4-0,5	
			heavy duty	Festo	HGRT	16-50	1,58-84,24	90	0,02	0,13-3,5	0,233-0,5	0,185-0,403	
					HGRC	12/16/20	0,22-1,44	90	0,05	0,2-0,7	0,12-0,17	0,1-0,16	
ELT	PAR	2	univ.	Schunk	EGN	80-160	400-1000	8-16	0,01	0,84-3	-	-	
					PG-Plus	70	30-200	34	0,05	1,2	1,1	1,1	
					Gimatic	EVG	55-40/55-100	24-57	20-50	0,05	0,79-1,1	-	-
						MPPM	1606/2508/3210	50/100/240	3/4/5	-	0,146-0,55	0,05-0,15	0,05-0,15
				sealed	Phd-inc	EGRKF	35/58/75	269-1703	3,25-13	0,01	1,22-6,12	0,5-1	0,5-1
						EGRKC	35/58/75	179-1300	3,25-13	0,01	1,22-6,12	0,4-0,75	0,4-0,75
				small obj.	Schunk	MEG	40-64	40-175	6-10	0,02	0,47-1,42	-	-
						PEH	30-50	750-1800	60-100	0,05	5,4-14,8	-	-
				long stroke	Schunk	LEG	760	1050-1500	281	0,05	9-11,6	-	-
						HGPLE	25	120-1300	40	0,05	1,68	0,6	0,6
	CONC	3	univ.		Schunk	EZN	64/100	500-800	6-10	0,01	0,98/2,3	-	-
						MPTM	1606/2508/3210	50/100/240	3/4/5	0	0,183-0,689	0,05-0,15	0,05-0,15
ELT	MISTA	2	univ.	robotiq	2 fing	85	100	42	0,05	0,89	0,022	0,022	
					2 fing	200	250-730	100	0,1	7,8	-	-	
				robotiq	3 fing	155	15-60	77,5	0,05	2,3	-	-	
IDC	PAR	2	univ.	Schunk	HGH	40	3300	60	-	6,6	-	-	
					HGN	80-160	330-3400	8-16	-	0,7-3,4	-	-	
			sealed	Sommer	GFP-NC	14-34	460-1140	12	-	5,4	-	-	

Tabella A.2: Dati tecnici di alcuni modelli commerciali pneumatici a griffe angolari, elettrici e idraulici.

Appendice B

Tabella pressioni di contatto

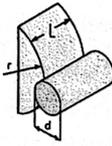
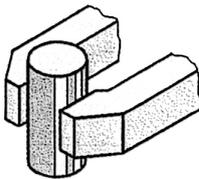
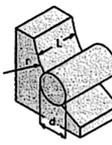
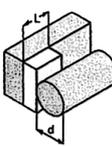
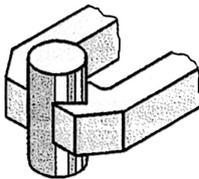
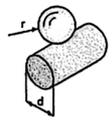
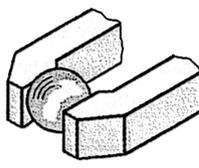
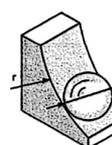
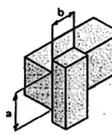
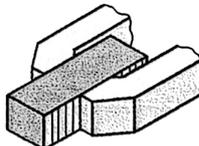
	contatto	pressione di superficie p	forma delle griffe
contatto su una linea		$p = 0,418 \sqrt{\frac{F_K \cdot E_r}{L} \left(\frac{2}{d} + \frac{1}{r} \right)}$	
		$p = 0,418 \sqrt{\frac{F_K \cdot E_r}{L} \left(\frac{2}{d} - \frac{1}{r} \right)}$	
		$p = 0,418 \sqrt{\frac{2 \cdot F_K \cdot E_r}{L \cdot d}}$	
contatto in un punto		$p = m \cdot \sqrt[3]{\frac{F_K \cdot E_r^2}{r^2}}$	
		$\frac{d}{2} < r$	
contatto su una superficie		$p = \frac{F_K}{a \cdot b}$	

Figura B.1: Pressione massima per contatto griffe/oggetto [1].

Appendice C

Tabella forze di presa in movimento

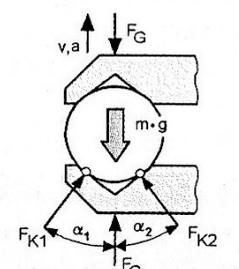
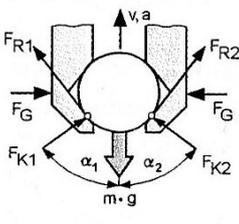
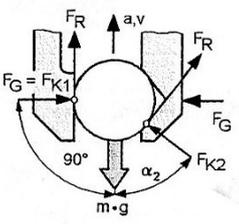
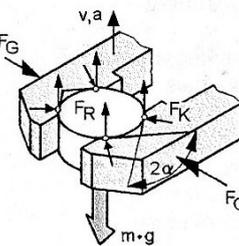
	sketch	contact forces	gripping force, upwards
shape force-mating		$F_{K1} = \frac{m(g+a)\sin\alpha_2}{\sin(\alpha_1+\alpha_2)}$ $F_{K2} = \frac{m(g+a)\sin\alpha_1}{\sin(\alpha_1+\alpha_2)}$	$F_G = m(g+a) \cdot S$
shape and friction mating		$F_{K1} = \frac{m(g+a)}{2 \cdot \cos\alpha_1}$ $F_{K2} = \frac{m(g+a)\tan\alpha_2}{2 \cdot \cos\alpha_2}$	$F_G = \frac{m(g+a)}{2} \tan\alpha \cdot S$
shape and friction mating		$F_G = m(g+a)\tan\alpha_2$ $F_{K2} = \frac{m(g+a)}{2 \cdot \cos\alpha_2}$	$F_G = F_{K1} \cdot S$
pure friction mating		$F_K = \frac{m(g+a)}{4 \cdot \mu}$	$F_G = \frac{m(g+a)}{2 \cdot \mu} \sin\alpha \cdot S$

Figura C.1: Forze agenti durante la movimentazione lineare di un pezzo per una presa parallela con dita prismatiche e piane [1].

Appendice D

Tabelle compatibilit  gripper

Le tabelle descrivono la compatibilit  dei principali gripper, pneumatici nella [D.1](#) e elettrici e idraulici nella [D.2](#), al variare delle caratteristiche dell'oggetto. Entrambe si riferiscono a situazioni del tutto generali, con dita di presa a superficie piatta.

- A = adatto
- N = non adatto
- C = adatto sotto certe condizioni

I valori per i gripper ad azione magnetica sono riferiti a materiali ferromagnetici.

Azionamento →		Pneumatica				
Caratteristiche	Tipo gripper →	2 griffe parallele	2 griffe angolari	2 griffe radiali	presa a 3 griffe	aspirazione
oggetto ↓						
Peso	leggero	A	A	A	A	A
	medio	A	A	A	A	A
	pesante	C	A	N	A	C
Dimensioni	piccolo	A	A	A	A	A
	medio	A	A	A	C	A
	grande	A	A	N	N	A
presa interna		si	condiz.	no	si	no
superficie	liscia	A	A	A	A	A
	scabra	A	A	A	A	N
	porosa	A	C	C	C	C
forma	sensibile	C	N	N	C	C
	cilindro	A	A	A	A	C
	sfera	A	A	A	A	A
	cono/piramide	C	C	C	C	C
	disco	C	C	C	A	A
	prisma	A	A	A	N	C
	tubo	A	C	N	A	C
	irregolare	C	C	C	C	C

Tabella D.1: Possibili caratteristiche degli oggetti e gripper pneumatici associabili.

Azionamento →		Elettrica			Idraulica
Caratteristiche	Tipo gripper →	2 griffe parallele	3 griffe concentriche	magnetici	presa a 2 griffe
oggetto ↓					
Peso	leggero	A	A	A	N
	medio	A	A	A	N
	pesante	N	N	A	A
Dimensioni	piccolo	A	A	A	N
	medio	C	C	A	A
	grande	N	N	A	A
presa interna		si	si	-	si
superficie	liscia	A	A	A	A
	scabra	A	A	A	A
	porosa	A	C	A	C
forma (griffe utilizzabili)	sensibile	A	A	C	N
	cilindro	A	A	A	A
	sfera	A	A	A	A
	cono/piramide	C	C	A	C
	disco	C	A	A	C
	prisma	A	N	A	A
	tubo	A	A	A	A
	irregolare	C	C	C	C

Tabella D.2: Possibili caratteristiche degli oggetti e gripper elettrici o idraulici associabili.

Bibliografia

- [1] R. S. H. S. Gareth J. Monkman, Stefan Hesse, *Robot Grippers*. Weinheim: WILEY-VCH, 2007.
- [2] H. S. A. Wolf, R. Steinmann, *Grippers in Motion - The Fascination of Automated Handling Tasks*. Germany: Springer, 2005.
- [3] C. Lanni, “Caratterizzazione dell’impatto di presa e progettazione ottima di gripper,” Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Cassino, 2007-2008.
- [4] C. V. P. Mazzoldi, M. Nigro, *Fisica Volume 2*. Padova: EdiSES, 2007.
- [5] N. D. Pozzolo, “Identificazione di un modello a parametri concentrati di un sensore tattile piezoelettrico,” Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria dell’Automazione, Università degli Studi di Padova, 2009-2010.
- [6] A. Gobbi, “Sensori di forza e coppia per macchine automatiche,” Tesi di Laurea Triennale in Ingegneria Meccatronica, Università degli Studi di Padova, 2011-2012.
- [7] M. Savino, *Fondamenti di Scienza delle Misure*. Italia: Carocci, 1992.
- [8] <http://www.it.schunk.com>.
- [9] <http://www.festo.com>.
- [10] A. C. A. R. G. Rosati, M. Faccio, “Fully flexible assembly system (f-fas): a new concept inflexible automation,” *Assembly Automation*, vol. 33, no. 1, pp. 8–21, 2013.

-
- [11] A. C. C. F. G. Rosati, M. Faccio, “Modelling and optimization of fully flexible assembly systems (f-fas),” *Assembly Automation*, vol. 33, no. 2, 2013.
- [12] <http://www.robotiq.com>.
- [13] E. B. N. R. H. M. J. H. L. John R. Amend, J.R., “A positive pressure universal gripper based on the jamming of granular material,” 2010.
- [14] S. B. S. S. T. S. A. H. S. K. T. Vittor, H. Staab, “A flexible robotic gripper for automation of assembly tasks,” 2011.
- [15] A. M. B. e M. Ruggiu, “A two degree of freedom gripper actuated by sma with flexure hinges,” *Journal of Robotic Systems*, vol. 20(11), pp. 649–657, 2003.
- [16] F. H. G. e B. D. Sushant M. Dutta, “Modeling and control of a shape memory alloy actuator,” in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Intelligent Control*, Limassol, Cyprus, 2005, pp. 1007–1012.
- [17] S.-C. W. Maw-Kae Hor, “On the grasping stability and optimality under external perturbations,” *Journal of Robotic Systems*, vol. 16(9), pp. 509–526, 1999.
- [18] S. Davis, J. Gray, and D. G. Caldwell, “An end effector based on the bernoulli principle for handling sliced fruit and vegetables,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 24, no. 2, pp. 249 – 257, 2008.

Ringraziamenti

Un ringraziamento particolare all'Ing. Fabio Oscari e alla mia ragazza per il supporto durante questo lavoro.