



Università Politecnica delle Marche

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica

“Studio dello stato dell’arte sulla robotica
riabilitativa , in particolare sull’utilizzo di robot
collaborativi”

“Study of the state of the art on rehabilitation
robotics, in particular on the use of collaborative
robots”

Relatore :

Prof.Giacomo Palmieri

Tesi di Laurea di :

Giada Bongiovanni

ANNO ACCADEMICO 2019/2020

Alla mia famiglia,

Per avermi sempre sostenuta ed appoggiata in ogni mia scelta, ognuno di voi ha contribuito sempre a farmi sentire la sua vicinanza.

A mia mamma,

punto di riferimento per ogni consiglio e per ogni sfogo, per essere stata la mia culla anche a questa età, nei momenti in cui mi sono sentita più fragile. Per tutte le volte in cui portarmi al treno era un momento triste, e per il tiramisù preparato al superamento di ogni esame.

A mio padre,

il mio fan più grande, che già dal primo giorno di università mi ha chiamata Ingegnere, spronandomi e consigliandomi sempre di non mollare mai, perché in fondo lo sappiamo : "ho paura" e "non ce la faccio" sono parole da eliminare nella vita.

A mia sorella,

Che con il suo "io non ci vado all'università", sotto sotto era sempre curiosa di ciò che studiavo ed era, a modo suo, felice ogni volta che superavo un esame.. " capirai Già, è solo un esame eh!" Ti voglio bene.

A Chari e Rachele,

Compagne di questo viaggio sin dal primo giorno, compagne di stanza e di vita che mi hanno sempre detto "Giovà sei una bomba" , grazie.

A mio Zio Giorgio,

so che saresti stato orgoglioso. Ti immagino il giorno della mia laurea, nella stanza con la telecamera a filmare tutto, come hai sempre fatto in ogni occasione, e come sono sicura che avresti fatto anche questa volta.

A me stessa,

Per essermi dimostrata quanto sono forte e quanto valgo, per aver raggiunto questo traguardo che sembrava impossibile ed è stato come una montagna russa. Le cadute sono state tante, ma eccoti qui Ingegnere.

SOMMARIO

Introduzione.....	8
Capitolo 1. Robotica industriale.....	9
1.1 Origini della robotica industriale.....	9
1.1.1 Definizione di robot industriale.....	10
1.2 Strutture meccaniche comuni del robot industriale.....	11
1.2.1 Gradi di libertà.....	16
1.2.2 Coppie cinematiche.....	17
1.2.3 Gradi di libertà nei robot industriali.....	19
1.3 Cinematica diretta ed inversa del manipolatore.....	23
Capitolo 2. L'hardware del robot industriale.....	29
2.1 Organo attuatore.....	30
2.2 Sensori robotici.....	31
2.2.1 Sensore di contatto.....	32
2.2.2 Sensori a infrarosso.....	34
2.3. Apprendimento robotico.....	35
2.3.1 Apprendimento automatico : Machine Learning.....	36
2.3.2 Apprendimento con pianificazione di traiettoria.....	39
2.3.3 Pianificazione traiettoria tramite Matlab/Simulink.....	42

Capitolo 3. Robotica collaborativa.....	51
3.1. Industria 4.0.....	51
3.1.1 Cobot : cosa sono i robot collaborativi.....	54
3.1.2. Stato attuale dell'arte dei robot collaborativi.....	58
3.2 Robot collaborativi in sanità.....	60
3.2.1 Approccio “ medico “ del robot collaborativo.....	61
3.2.2 Studio sullo stato dell'arte della robotica in sanità.....	64
Capitolo 4. L'Arto superiore.....	68
4.1 Arto superiore : componenti e movimenti.....	68
4.2 Riabilitazione dell'arto superiore.....	70
4.2.1 La spalla : tecniche di riabilitazione tradizionale.....	73
4.2.2 Il gomito : frattura e riabilitazione tradizionale.....	74
4.2.3 Polso e mano : frattura e riabilitazione tradizionale.....	76
4.3 Riabilitazione dell'arto superiore con l'utilizzo dei robot collaborativi.....	76
4.3.1 Riabilitazione robotica nei pazienti post-ictus degli arti superiori.....	77
4.3.2 Sistema Amadeo.....	82
4.3.3 KUKA medical robots.....	84
4.3.4 UR5 Robot : progetto patient@home.....	86

Capitolo 5. L'arto inferiore.....	89
5.1 Arto inferiore : componenti e movimenti	89
5.1.1 L'anca : frattura e tecniche di riabilitazione tradizionale.....	91
5.1.2 Il ginocchio : frattura e tecniche di riabilitazione tradizionale.....	93
5.2 ROBERT by Kuka.....	94
5.3 LBR Med.....	96
Capitolo 6. Teleriabilitazione.....	99
6.1 Teleriabilitazione robotica assistita.....	99
6.2 MOTORE++ : riabilitazione domestica.....	100
Conclusioni.....	103
Riferimenti.....	106

INTRODUZIONE

In questa tesi di Laurea Triennale in Ingegneria Biomedica si affronteranno i temi principali della robotica in campo sanitario, in particolare quello riabilitativo.

Lo sviluppo tecnologico sempre più celere e l'industria 4.0, hanno accelerato di gran lunga le ricerche e le scoperte in campo elettronico, robotico e di nanotecnologia, al punto di avere la possibilità di contatto diretto tra uomo e robot, in qualsiasi campo, fianco a fianco in completa sicurezza: robotica collaborativa. Come si sono raggiunti questi risultati? I primi capitoli avranno un carattere e linguaggio, principalmente meccanico ed elettronico, al fine di far capire il perché ed il come, i cobot riescano ad interagire con noi esseri umani. Successivamente si introdurrà l'industria 4.0 nei suoi aspetti più generali ed il collegamento con la sanità. Nei capitoli 4 e 5, si avranno cenni di anatomia relativi agli arti superiori ed inferiori, con relative tecniche di riabilitazione tradizionale, paragonata alla riabilitazione robotica, citando solo alcuni dei cobot presenti in commercio, quali ROBERT, AMEDEO, KUKA, LBR MED, CARLO.

In conclusione, si introdurrà un'idea innovativa e rivoluzionaria di teleriabilitazione robotica assistita in casa.

L'obiettivo? Migliorare ed ottimizzare la vita delle persone.

Capitolo 1. Robotica industriale e collaborativa

In questo primo capitolo si affronterà la tematica della robotica industriale nel suo aspetto più generale, partendo dalle origini e dai vari concetti ad essa correlati. Si passerà poi ad analizzare nello specifico il robot industriale, descrivendone le varie tipologie esistenti con le rispettive strutture.

1.1 Origini della robotica industriale

L'etimologia della parola 'Robot' è da ricondursi al ceco *robota* che significa 'lavoro pesante' o 'lavoro forzato'. Altri termini a cui ricondurre il significato di 'Robotica' sono: 'androide' (dal greco *anèr, andròs*, 'uomo'), 'cyborg' ('organismo cibernetico' o 'uomo bionico') cioè una creatura risultato di combinazione di parti organiche e meccaniche, infine 'automa' dal greco *autòmaton* 'che si muove da sé'.

Oggi, con il termine 'Robotica' ci si riferisce allo studio e all'uso dei robot intesi come dispositivi elettromeccanici il cui comportamento viene controllato da opportuni comandi impartiti dall'uomo. Il termine 'Robot', nella sua accezione moderna, è stato utilizzato per la prima volta dallo scienziato e scrittore Isaac Asimov nel 1942.

Conseguenza dell'ambito di lavoro dei robot industriali, è l'esistenza delle cosiddette "Leggi della robotica": esse codificano le norme etico comportamentali che un qualsiasi robot deve

rispettare. Queste ultime, si limitano a definire il ruolo che i robot possono assumere all'interno della società, vincolandone l'autonomia di comportamento alla sicurezza dell'uomo e dell'umanità:

1. Un robot non deve provocare danno all'umanità sia tramite la sua azione che tramite un comportamento passivo.
2. Un robot non deve ferire esseri umani o tramite la sua non azione consentire un danno agli stessi.
3. Un robot deve obbedire agli ordini degli esseri umani eccetto quando questi siano in contrasto con la prima legge.
4. Un robot deve agire per proteggere la sua stessa esistenza fintanto che tali azioni non siano in contrasto con le prime due leggi.

1.1.1 Definizione di robot industriale

Un Robot è «un manipolatore riprogrammabile e multifunzionale progettato per spostare materiali, componenti, attrezzi o dispositivi specializzati attraverso vari movimenti programmati per la realizzazione di vari compiti»

(Robot Institute of America, 1979).

La robotica industriale è un sistema di automazione che comprende strumenti meccanici progettati per compiere in autonomia un lavoro sempre identico a un ritmo costante e veloce: i robot. E' possibile identificare un robot industriale come uno strumento multifunzione riprogrammabile, realizzato per gestire

oggetti , o come vedremo nel nostro caso più specifico l'interazione umana, attraverso movimenti precedentemente programmati e memorizzati . Un robot può acquisire dati dall'ambiente esterno ed è in grado di elaborarli, sviluppando un'intelligenza artificiale per ottimizzare il proprio lavoro , per poi essere in grado di riprodurli per un certo n volte , qualora necessario . Gli sviluppi delle tecnologie robotiche avuti a partire dagli anni ottanta hanno tuttavia rivoluzionato il concetto di robot, trasformandolo da strumento di servizio in ambienti industriali di tipo strutturato, in sistema di utilità e collaboratore dell'uomo nel suo stesso ambiente.

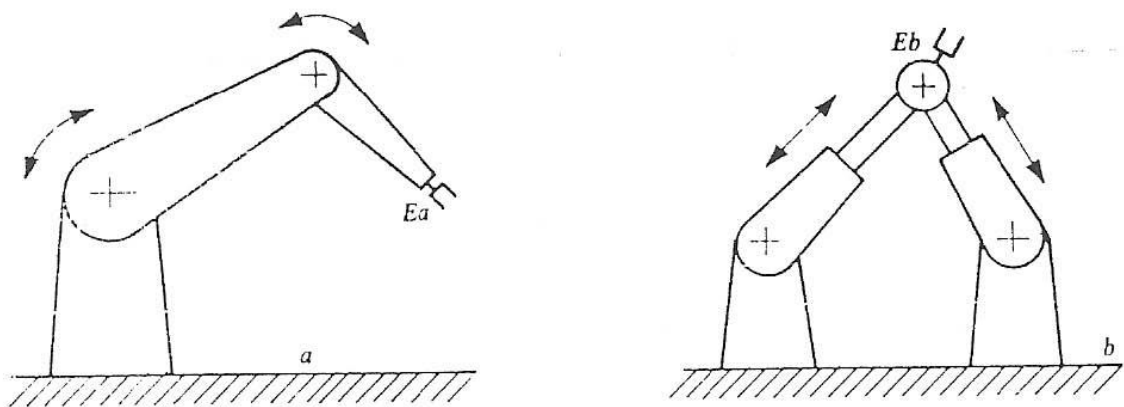
Ad oggi potremo definire 'Robot' un sistema elettromeccanico riprogrammabile, dotato di capacità di percezione e di un'intelligenza propria, predisposto per compiere un ampio numero di compiti diversi. I Robot si differenziano per applicazione, e struttura in diverse categorie: da robot mobili, manipolatori industriali, robot chirurgici.

1.2 Strutture meccaniche comuni del robot industriale

Obiettivo del seguente paragrafo, è fornire le informazioni basilari ma fondamentali delle strutture meccaniche dei manipolatori, andando oltre alla "forma" propria esteriore, ma "entrando" nel vivo della meccanica e dei suoi principi.

La struttura meccanica dei robot è costituita da una sequenza di elementi meccanici connessi tra loro da giunti che ne consentono il moto relativo. I singoli elementi possono essere connessi tra loro in serie od in parallelo . La struttura è seriale quando i singoli elementi sono collegati l'uno all'altro come gli anelli di una catena; è parallela quando tutti gli elementi sono collegati sia a terra sia all'estremità della struttura tramite dei giunti rotoidali.

L'approccio seriale garantisce una più ampia possibilità di movimento, mentre quello parallelo permette di ottenere una maggiore rigidità.



Tipologie di collegamento : a) seriale , b)parallelo.

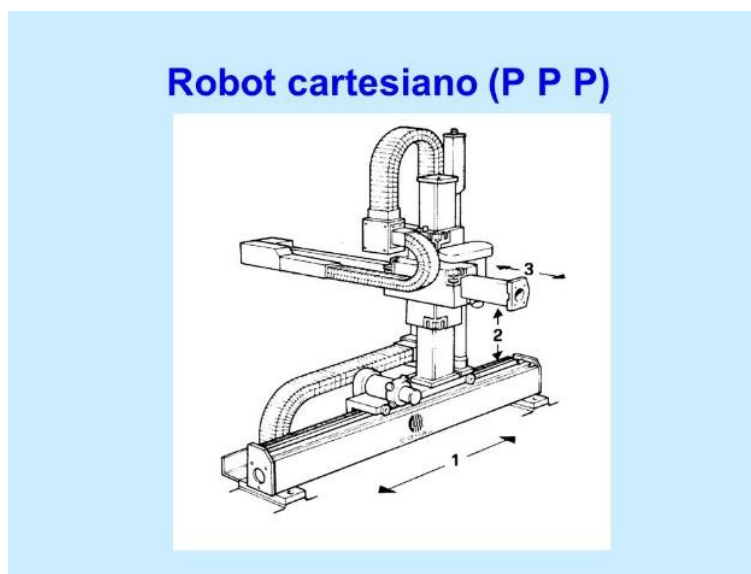
https://www.giamod.it/documentazione%20robot/generalita/gen_robot.htm

Possiamo suddividere i robot industriali in 5 macro categorie :

- Robot Cartesiani: generalmente utilizzati per la loro estrema precisione nel posizionamento di oggetti. I robot cartesiani sono caratterizzati da un'estrema rigidità, dovuta alla propria struttura meccanica. Questi sistemi vengono realizzati servendosi di tre giunti prismatici. Inoltre, robot del genere non permettono di orientare un oggetto.
- Robot Cilindrici: sono formati da due giunti prismatici e da un giunto rotante. Il volume di lavoro o campo operativo, cioè l'insieme dei punti dello spazio raggiungibili dall'estremità del robot, è compreso tra due cilindri concentrici
- Robot Polari: si può considerare derivato da quello cilindrico attraverso la sostituzione dello spostamento verticale con l'inclinazione del braccio. Attualmente questa struttura è limitata ad applicazioni gravose come la saldatura punti o la manipolazione pesante nelle quali non è richiesta grande precisione di posizionamento o elevata ripetibilità
- Robot Antropomorfo o Articolato: adottano una geometria di tipo antropomorfa, che riproduce in modo grezzo il corpo umano. In effetti, attraverso l'utilizzo di tre giunti rotoidali, i robot antropomorfi tentano di riprodurre quelli che sono i comuni movimenti del braccio umano: infatti il secondo giunto viene chiamato spalla, mentre il terzo viene riconosciuto come gomito. I robot antropomorfi sono i

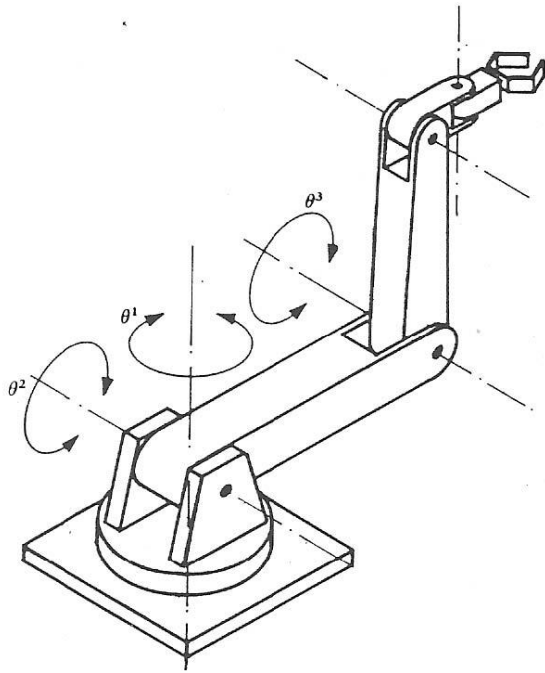
sistemi principali che vengono utilizzati come manipolatori nella robotica industriale.

- Robot SCARA: utilizzano la cosiddetta geometria SCARA e deriva dalla combinazione dell'antropomorfo con il cilindrico. Il nome è un acronimo inglese che può essere tradotto in italiano come braccio robotico a cedevolezza ristretta. La particolarità di questa tipologia di robot sta nel fatto che possono modificare la rigidità con la quale devono operare. Nel caso di carichi pesanti, la rigidità diventa estremamente elevata, mentre quando si tratta di carichi leggeri il valore rigido si riduce ai minimi termini.



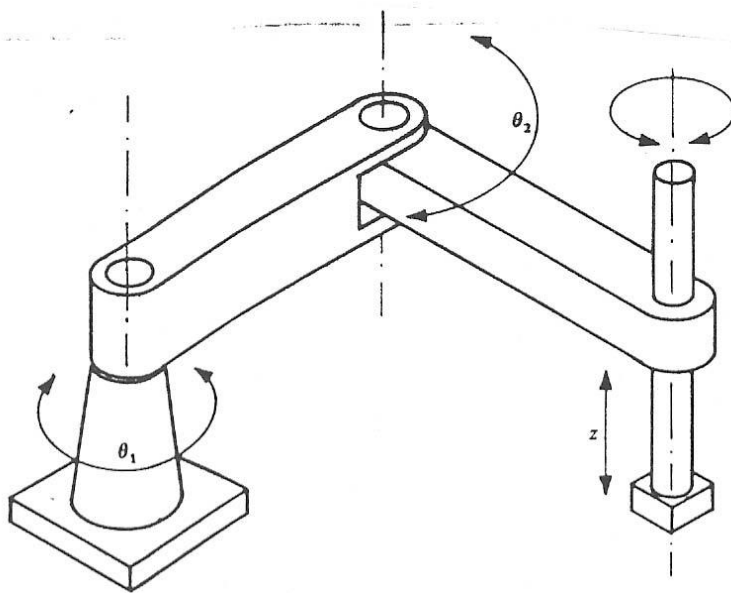
Robot Cartesiano

https://www.giamod.it/documentazione%20robot/generalita/gen_robot.htm



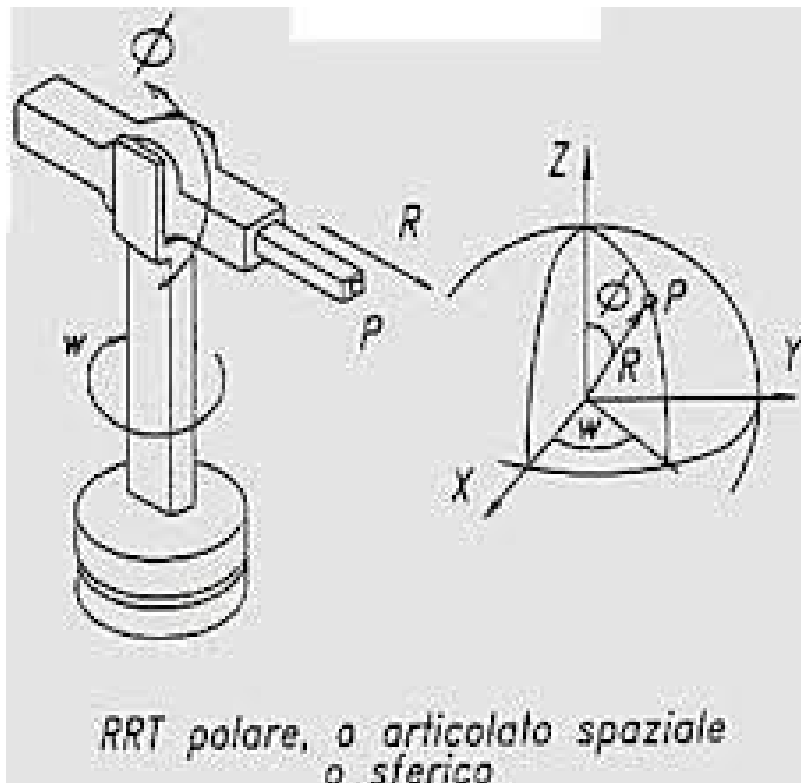
Robot Antropomorfo

https://www.giamod.it/documentazione%20robot/generalita/gen_robot.htm



Robot SCARA

https://www.giamod.it/documentazione%20robot/generalita/gen_robot.htm



Robot Polare

https://www.giamod.it/documentazione%20robot/generalita/gen_robot.htm

1.2.1 Gradi di libertà

In generale, i sistemi meccanici sono costituiti da un certo numero di membri opportunamente accoppiati e vincolati per garantirne il giusto movimento.

Per grado di libertà di un corpo si intende il corrispondente moto elementare che esso può compiere compatibilmente con i vincoli imposti: ad esempio, considerando un corpo rigido libero nello spazio, esso ha possibilità di movimento traslazionale e rotazionale, nello specifico tre traslazioni e tre rotazioni, relative

agli assi di un sistema di riferimento fisso scelto. Si dice quindi che il corpo è dotato di sei gradi di libertà o 6DOF (Six Degrees Of Freedom) nello spazio tridimensionale.

Il numero di gradi di libertà posseduti da un corpo corrisponde quindi al numero di parametri indipendenti necessari a definire la posizione e il suo orientamento. Le varie tipologie di vincoli imposti, mirano a limitare il moto relativo tra corpi che è caratterizzato da tre gradi di libertà. Questi vincoli sono basati sull'accoppiamento tra elementi geometrici appartenenti ai due corpi, generando tre diverse tipologie di contatto: contatti puntuali, lineari o superficiali.

1.2.2 Coppie cinematiche

I giunti di collegamento tra i vari elementi definiscono una coppia cinematica, ovvero un sistema formato da due membri in moto relativo tra loro con almeno un grado di libertà. La definizione di coppia cinematica parte dalla caratterizzazione del tipo di moto relativo ammesso tra i corpi connessi, senza tener conto della realizzazione effettiva degli stessi.

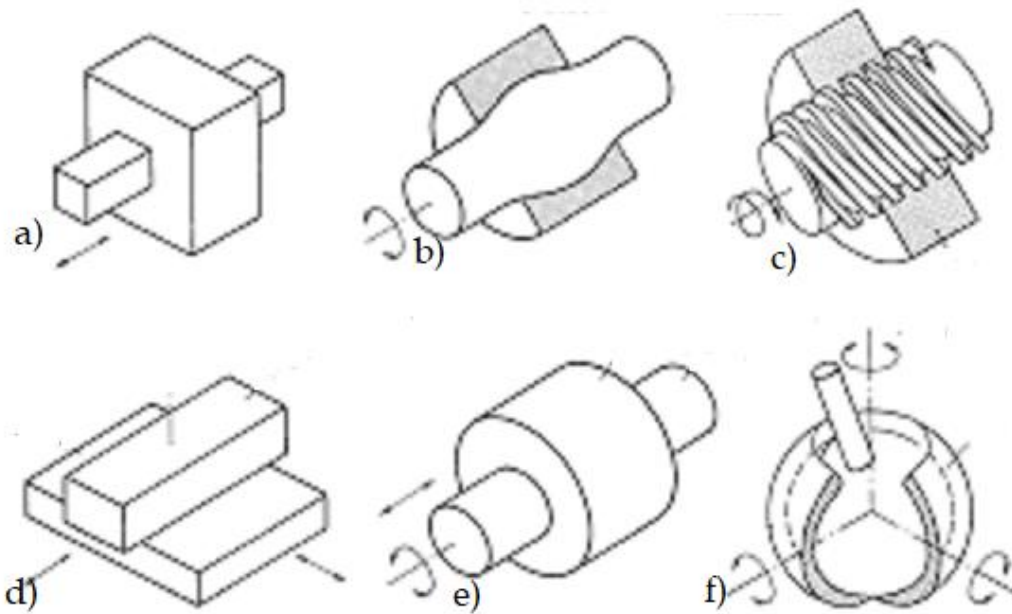
Le coppie cinematiche si definiscono *coppie inferiori*, se sono realizzate con elementi cinematici in contatto superficiale:

- Coppia rotoidale (R) : lascia un grado di libertà di rotazione attorno all'asse della coppia (coppia elementare);

- Coppia prismatica (P) : lascia un grado di libertà di traslazione lungo l'asse della coppia (coppia elementare);
- Coppia elicoidale (S) : lascia un grado di libertà elicoidale in cui le grandezze di traslazione e rotazione non sono indipendenti , ma legate da un parametro (coppia elementare);
- Coppia cilindrica (C) : due gradi di libertà di traslazione e rotazione indipendenti, rispetto all'asse della coppia;
- Coppia piana (F) : lascia tre gradi di libertà , nello specifico due traslazioni ed una rotazione rispetto all'asse ortogonale alle due direzioni di traslazione;
- Coppia sferica (G) : lascia tre gradi di libertà , ovvero tre rotazioni attorno ad assi che si intersecano nel centro della sfera;

Le coppie cinematiche che non possono essere realizzate con contatti superficiali, vengono definite coppie superiori:

- Coppia camma piana: generata dal contatto tra due profili; sono concesse traslazione in direzione tangenziale ai profili nel punto di contatto e rotazione attorno all'asse perpendicolare al piano e passante per il punto di contatto;
- Accoppiamento tra profili senza strisciamento: solo grado di libertà di rotazione relativa in quanto la traslazione è impedita a causa di accoppiamento di forma o attrito;
- Coppia universale: due gradi di libertà di rotazione attorno a due assi ortogonali.



Coppie cinematiche : a) prismatica; b) rotoidale ; c) elicoidale ; d) piana ; e) cilindrica ; f) sferica - Elearning.unipd.it

1.2.3 Gradi di libertà di un robot industriale

I robot, come tutte le strutture meccaniche realizzate con parti rigide collegate fra loro da giunti, sono caratterizzati dal numero di gradi di libertà che dipende dal tipo di giunti utilizzati e dal loro numero.

Le strutture dei robot sono sempre realizzate utilizzando dei giunti di tipo prismatico o rotoidale.

Questa affermazione è corretta nel momento in cui la si riferisce a quei giunti che sono accoppiati con un motore e quindi sono in grado di produrre un movimento. Infatti nei robot si possono trovare altri tipi di giunti, tipicamente sferici, ma puramente passivi. Il loro impiego si rende necessario quando si utilizzano strutture parallele, o all'interno di cinematismi per la trasmissione

del moto. Il nostro interesse si soffermerà comunque sui primi, in quanto essi soltanto sono in grado di spostare e di orientare nello spazio l'estremità della struttura del robot. L'utilizzo esclusivo di giunti a singolo grado di libertà ci permette di affermare che: i robot hanno tanti gradi di libertà quanti sono i giunti contenuti nella loro struttura.

I gradi di libertà possono essere calcolati anche come numero di parametri necessari per individuare la posizione assunta dalla struttura. Nel caso dei robot tali parametri vengono anche detti variabili di giunto, in quanto esprimono la posizione assunta da ciascuno di essi e quindi sono rappresentati da un angolo di rotazione o da una distanza di traslazione.

La struttura di un robot deve permettere sei diverse possibilità di movimento alla sua estremità in modo da poterla spostare ed orientare nello spazio in modo arbitrario. Lo scopo può essere raggiunto con l'utilizzo di sei giunti ben disposti, cioè in grado di generare dei movimenti indipendenti tra loro. Si ha dipendenza di movimento quando due giunti rotatori hanno gli assi di rotazione paralleli, o due traslatori permettono il movimento nella medesima direzione. Si parla allora di giunti o vincoli ridondanti, in quanto entrambi permettono uno stesso tipo di spostamento e quindi, uno dei due potrebbe essere eliminato senza penalizzare le possibilità di movimento dell'estremità della struttura. Si può dire che una coppia di giunti ridondanti aggiunge due gradi di libertà alla struttura, ma una sola possibilità di movimento alla sua estremità.

In ambito di robotica industriale , si incontrano solo strutture i cui giunti sono disposti in modo da ottenere movimenti indipendenti. Un robot industriale a sei gradi di libertà (6DOF) può spostare ed orientare in modo arbitrario nello spazio l'estremità della sua struttura. Quando un robot ha meno di sei gradi di libertà , vengono a mancare alcune possibilità di movimento: la capacità di spostare l'oggetto nello spazio è in genere un aspetto ritenuto fondamentale, ed occorre quindi operare per compensare questa "mancanza". Nel caso in cui, al contrario, il robot abbia più di sei gradi di libertà si dice ridondante, in quanto ha a disposizione un giunto supplementare per realizzare i suoi movimenti. Queste particolari strutture permettono di ottenere una desiderata posizione ed un determinato orientamento per un oggetto manipolato con infinite configurazioni diverse della struttura, anche se solitamente in ambito lavorativo industriale non vengono utilizzati robot con caratteristiche di ridondanza .Quando si parla di robot a sette gradi di libertà (7DOF) i costruttori fanno infatti riferimento al numero di assi (giunti) controllati e, di conseguenza, includono nel conteggio anche il movimento di apertura e chiusura della pinza e/o la base mobile. Tuttavia si tratta di giunti che non vengono gestiti in contemporanea con quelli della struttura ma in momenti diversi. La pinza viene infatti chiusa per afferrare o rilasciare gli oggetti da manipolare ma non contribuisce alle possibilità di movimento della struttura. Anche la base mobile non può essere inclusa tra i gradi di libertà della struttura, in quanto essa serve solo a spostare il robot in zone di lavoro diverse, ma non viene mai utilizzata durante il suo ciclo operativo.

Aspetto dunque importante e da non trascurare, è il calcolo dei gradi di libertà di una data catena cinematica generica e quindi il numero minimo di coordinate libere che è necessario conoscere per determinare la configurazione geometrica assunta dalla catena in un determinato istante di moto.

1. Caso moto piano: ogni corpo libero di muoversi è caratterizzato da tre gradi di libertà. Perciò se si hanno m corpi si avranno al massimo $3m$ gradi di libertà; se uno dei suddetti corpi è fisso o assume il ruolo di telai, il numero massimo diventa $3(m-1)$. Nella realtà accade però che, a causa dei vincoli imposti che agiscono tra i vari componenti, il numero effettivo dei gradi di libertà della catena è inferiore :

$$N = 3(m-1) - 2C_1 - C_2 \quad \text{Formula di Grubler}$$

I termini presenti nella formula sopra citata , si riferiscono ai gradi di libertà che la coppia lascia al moto relativo: C_1 rappresenta il numero di coppie presenti in catena che lasciano un grado di libertà al moto relativo, conseguentemente all'introduzione di due gradi di vincolo ; allo stesso modo il termine C_2 rappresenta il numero di coppie che lasciano due gradi di libertà introducendo un grado di vincolo.

Tuttavia, in alcuni casi , la formula di Grubler può portare a dei risultati errati in presenza di vincoli ridondanti che, come precedentemente descritti, impongono limitazioni di moto già esistenti ed imposte da altri giunti. Perciò il valore N fornito

corrisponde alla differenza tra gradi di libertà e vincoli ridondanti.

2. Caso moto tridimensionale : generalizzazione del caso di moto piano, andando a considerare che i gradi di libertà sono sei e classificando le coppie cinematiche come C_x ovvero che introduce $(6-x)$ gradi di vincolo :

$$N = 6(m - 1) - 5C_1 - 4C_2 - 3C_3 - 2C_4 - C_5 \text{ Formula di Kutzbach}$$

In relazione ai risultati ottenuti, il valore di n fornisce indicazioni sulla staticità della struttura : per $n > 0$ si hanno meccanismi o catene cinematiche perché solo in questa condizione è possibile il moto relativo ; per $n < 0$ struttura iperstatica e per $n=0$ struttura isostatica.

1.3 Cinematica diretta ed inversa del manipolatore

Il seguente paragrafo è una brevissima e sintetica trattazione della cinematica diretta ed inversa di robot industriali, con focus su una tecnica utilizzata in ambiti complessi di cinematica diretta con esempi grafici a seconda del tipo di manipolatore utilizzato.

L'approfondimento di tecniche di calcolo o teoria più specifica con esempi di calcolo numerico, esula dal trattamento di questa tesi.

Il modello cinematico di un robot è una descrizione analitica delle relazioni che intercorrono fra:

- le posizioni dei giunti ;
- la configurazione o posa (posizione ed orientazione) di un particolare membro della struttura del robot.

Quest'ultimo è tipicamente il corpo che reca l'organo terminale, o end-effector. Nei bracci manipolatori seriali l'end-effector è posto all'estremità della catena di corpi e giunti che formano il braccio. L'altra estremità, la base, è invece solitamente fissata rigidamente all'ambiente.

La postura dell'organo terminale è spesso descritta rispetto ad un sistema di riferimento solidale all'ambiente di lavoro.

$${}^b\mathbf{A}_e = \left[\begin{array}{ccc|c} {}^b\mathbf{n}_e & {}^b\mathbf{s}_e & {}^b\mathbf{a}_e & {}^b\mathbf{p}_e \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

Matrice omogenea che la caratterizza:

- Problema cinematico diretto : Riguarda la determinazione della postura dell'organo terminale note le configurazioni dei giunti: si indica come l'insieme dei valori che possono essere assunti dalle configurazioni dei medesimi giunti. Matematicamente si tratta di ottenere un'espressione esplicita della mappa cinematica diretta.

$$\begin{aligned} \Lambda : Q_S &\rightarrow SE(3) \\ q &\mapsto \Lambda(q) = x \in SE(3) \end{aligned}$$

- Problema cinematico inverso : Consiste nella determinazione delle configurazioni da far assumere ai giunti per far sì che la postura dell'organo terminale sia assegnata. Se si indica come l'insieme dei valori che possono assumere i giunti,

$$\begin{aligned} \bar{\Lambda} : SE(3) &\rightarrow Q_A \\ x &\mapsto \bar{\Lambda}(x) = q \in Q_A \end{aligned}$$

matematicamente si ha

1.3.1 Calcolo della cinematica diretta

Iniziamo la trattazione dal problema cinematico diretto dei bracci seriali, costituiti cioè da catene cinematiche aperte. In questo caso, si può assumere che sia $Q_A = Q_S = Q$.

Si procede impiegando le trasformazioni omogenee nel modo seguente

1. Si associa a d ogni membro una terna di riferimento ad esso solidale e che ne descrive la configurazione;
2. Si impiegano le trasformazioni omogenee per descrivere la postura di una terna rispetto alla precedente, ragionando quindi in assi a partire dalla terna base fino alla terna dell'end-effector;
3. Tale descrizione rappresenta quindi la postura dell'organo terminale rispetto alla base .

Il procedimento è concettualmente molto semplice .

Domanda: c'è una qualche convenzione per fissarle in modo sistematico?

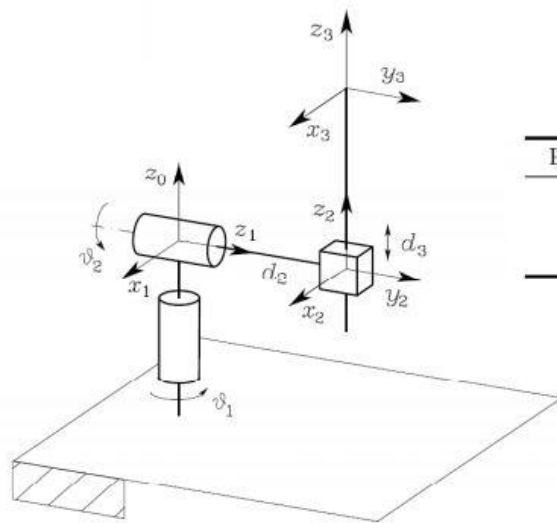
In casi più complessi, può essere utile procedere in modo sistematico alla scelta dei sistemi di riferimento che permettano di scrivere le catene di trasformazioni omogenee in modo più semplice possibile: fissiamo perciò le seguenti convenzioni, dette di Denavit-Hartenberg:

- Numerazione dei bracci e dei giunti: i bracci vengono numerati da 0 a n, partendo dalla base ed arrivando all'organo terminale (contando anche il telaio), e si indicano con L_0, L_1, \dots, L_n . Dato che un braccio seriale con n+1 membri ha n giunti, questi si designano con J_1, J_2, \dots, J_n .

- Assegnazione assi "z" dei sistemi di riferimento: si associa un sistema solidale il cui asse coincide con l'asse del giunto .Ogni retta parallela alla direzione del moto può essere presa come asse ;
- Si crea una tabella dei parametri dei link e si costruiscono le relative matrici omogenee;
- Stabilire mappa della cinematica.

Di seguito , grafici esplicativi di differenti robot industriali con relativa tabella dei parametri dei link :

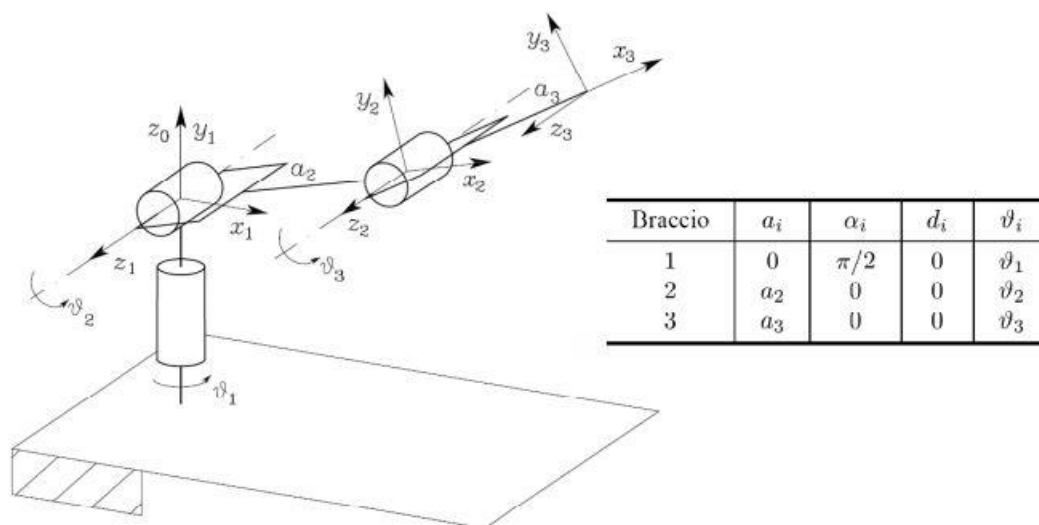
Manipolatore sferico



Braccio	a_i	α_i	d_i	ϑ_i
1	0	$-\pi/2$	0	ϑ_1
2	0	$\pi/2$	d_2	ϑ_2
3	0	0	d_3	0

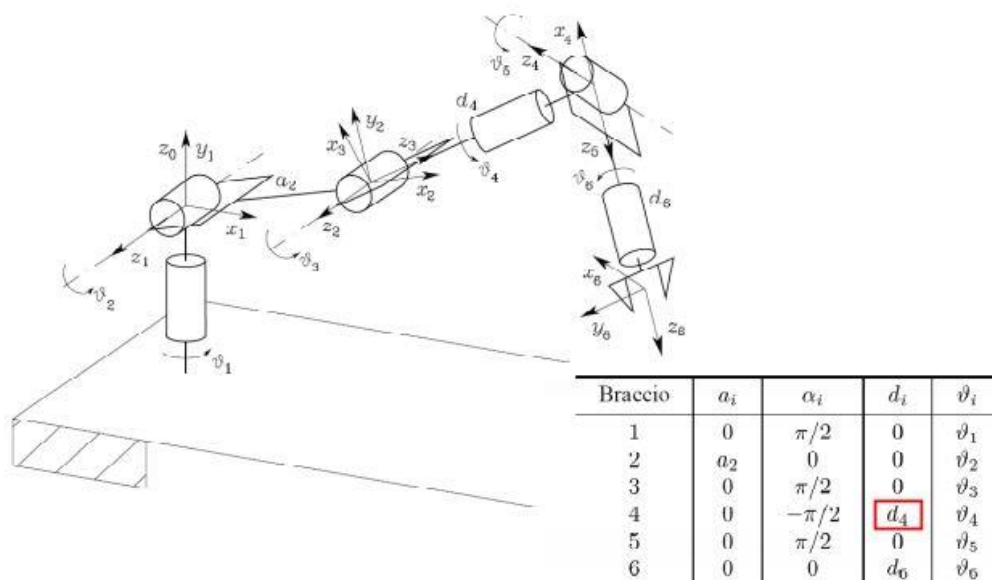
Manipolatore sferico - www.matematicamente.it

Manipolatore antropomorfo



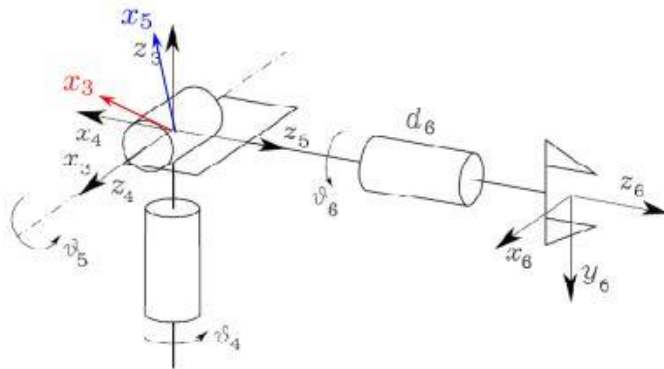
Manipolatore antropomorfo - www.matematicamente.it

Manipolatore antropomorfo con polso sferico



Manipolatore antropomorfo con polso sferico - www.matematicamente.it

Polso sferico



Braccio	a_i	α_i	d_i	ϑ_i
4	0	$-\pi/2$	0	ϑ_4
5	0	$\pi/2$	0	ϑ_5
6	0	0	d_6	ϑ_6

Polso sferico - www.matematicamente.it

1.3.2 Calcolo cinematica inversa

Come precedentemente descritto, il modello cinematico inverso ha come obiettivo finale, la determinazione della posizione dei giunti, nota che sia la posizione finale. Di seguito i passaggi da eseguire:

- Determinare le variabili di giunto, una volta assegnati posizione ed orientazione dell'end-effector;
- Non esiste alcuna tecnica di tipo generale che applicata sistematicamente dà una soluzione;
- La soluzione che si cerca può non essere unica. Si possono avere: nessuna soluzione (si richiede di stare all'esterno dello spazio di lavoro), insieme finito di soluzioni (una o più), infinite soluzioni;
- Si cercano soluzioni in forma non numerica per ragioni computazionali.

Capitolo 2 : L'hardware del robot

“Le parti fisiche dei dispositivi meccanici e dei sistemi elettronici di controllo.” questa è la definizione della parola Hardware secondo il Dizionario enciclopedico dei polimeri di Gooch JW (eds). Springer, New York.

L'inserimento questo capitolo è avvenuta in un secondo momento uscendo un po' dagli schemi relativi a questa tesi, in quanto a mio parere, credo sia fondamentale conoscere, anche se non propriamente nello specifico, la parte elettronica costituente di un robot, per poter capire al meglio come opera e del perché opera in un determinato modo, in un ambito lavorativo qualsiasi.

In questo capitolo si avrà quindi, una panoramica dei diversi organi componenti dell'hardware di un robot, del suo organo attuatore e delle diverse tipologie di sensori di cui esso può essere composto, con un approccio prettamente elettronico, con l'ausilio del libro “Robotica mobile”, Nehmzow U.(2008). Springer, Milano.

Saranno discussi i più comuni sensori e attuatori utilizzati nei robot mobili, i loro punti di forza e i loro limiti, e alcune delle applicazioni più frequenti.

Quale tipo di informazione può essere ottenuta dai vari sensori? Quale tipo di attuttore è preferibile per ogni categoria di operazione da svolgere? In questo capitolo proveremo a dare una risposta a queste domande.

Nel paragrafo 2.3 invece, si affronterà un'altra tematica importante riguardante l'apprendimento dei movimenti da parte del robot, con la conseguente riproduzione di essi in base alle necessità.

2.1 Organo attuatore

Il compito del sistema di attuazione è di produrre il moto dei giunti impostato dal sistema di controllo. Il tipo più comune di attuatore usato nei robot mobili è il motore elettrico, solitamente un motore a corrente continua (DC) o un motore passo passo. Il primo è più facile da controllare: il motore opera grazie all'erogazione di corrente continua



Organo attuatore -
www.automazionenews.it

Nel secondo caso le bobine sono sezionate, cosicché il movimento del rotore può essere determinato applicando una tensione alla sezione desiderata della bobina, che genera una rotazione con un angolo noto.

I principali requisiti che si pongono nell'utilizzo di questi organi attuatori sono:

- bassa inerzia ed elevato valore del rapporto potenza/peso
- possibilità di sovraccarico
- capacità di sviluppare elevate accelerazioni
- ampio campo di variazione delle velocità

- elevata precisione di posizionamento

Solitamente un attuatore a corrente continua DC risponde a queste esigenze.

2.2 Sensori robotici

I sensori robotici sono dispositivi elettronici che forniscono al robot informazioni circa lo stato dell'ambiente esterno, in quanto sono capaci di percepire e misurare proprietà fisiche quali la temperatura, la luminosità, la pressione. I sensori trasmettono informazioni a basso livello relative all'ambiente in cui opera il robot: queste informazioni sono affette da rumore (cioè imprecise), spesso contraddittorie e ambigue.

Possiamo distinguere due tipologie principali: i sensori propriocettivi e quelli esteroceettivi.

I primi misurano lo stato interno del robot, ovvero la posizione e la velocità di giunto, e la coppia al giunto. Il loro utilizzo è necessario per la calibrazione cinematica, per l'identificazione dei parametri dinamici e per il controllo.

I sensori esteroceettivi invece consentono di caratterizzare l'interazione del robot con l'ambiente esterno, aumentandone l'autonomia. I sensori esteroceettivi più comunemente adottati sono: i sensori di forza, i sensori tattili, i sensori di prossimità ed infine i sensori di visione.

Alcuni di questi ultimi, caratterizzano nello specifico, robot di applicazione industriale con compiti di sbavatura dell'oggetto ,

assemblaggio o finitura di parti meccaniche, che esulano dallo scopo di questa tesi e perciò verranno solamente citati senza soffermarci ulteriormente sull'argomento.

In generale, tutti i sensori sono caratterizzati da una serie di proprietà che ne descrivono le capacità. Le più importanti sono le seguenti:

- a. Sensibilità: rapporto tra la variazione dell'uscita e quella dell'ingresso ed il tipo di uscita;
- b. linearità: misura della costanza del rapporto tra ingresso e uscita;
- c. intervallo di misura: differenza tra i valori minimi e massimi misurabili;
- d. tempo di risposta: tempo necessario affinché una variazione unitaria dell'ingresso mostri i suoi effetti in uscita;
- e. accuratezza: differenza tra il valore vero e il valore misurato;
- f. ripetibilità: differenza tra due misurazioni successive della stessa entità;
- g. risoluzione: il più piccolo incremento osservabile all'ingresso;

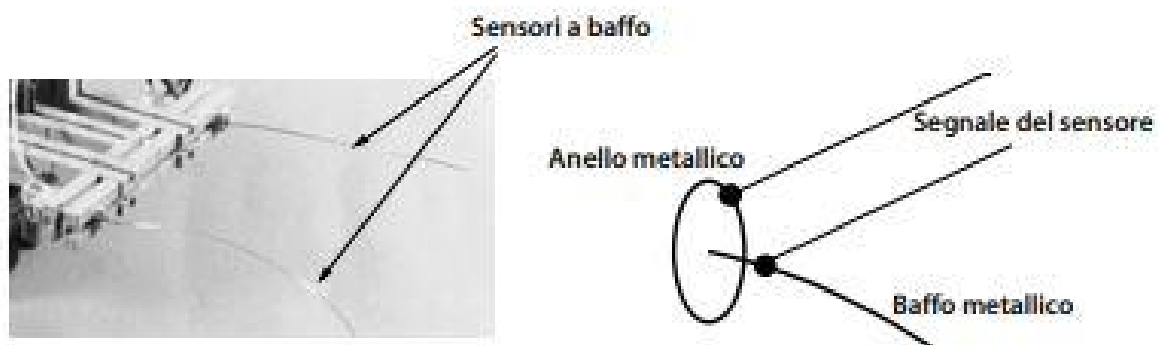
2.2.1 Sensori di contatto

I sensori di contatto rilevano il contatto fisico con un oggetto; più precisamente misurano una proprietà fisica (come la chiusura di un interruttore), che è solitamente causata da un contatto fisico con un oggetto. I sensori di contatto più semplici sono i microinterruttori, o sensori a baffo. Quando una molla è in contatto con un oggetto, si

chiude un microinterruttore che invia un segnale elettrico che può essere rilevato dal controllore. Quando viene piegato, il baffo metallico crea un contatto con un anello metallico, che chiude il circuito e genera un segnale rilevabile.

Un altro metodo per costruire semplici sensori di contatto prevede l'uso di estensimetri o di trasduttori piezoelettrici. Gli estensimetri sono strati sottili di materiale resistivo costruiti sopra un strato flessibile.

Quando lo strato flessibile è piegato da una forza esterna, il materiale resistivo si piega (aumentando la resistenza) o si comprime (diminuendo la resistenza). Questa variazione di resistenza può essere utilizzata per rilevare la deformazione,

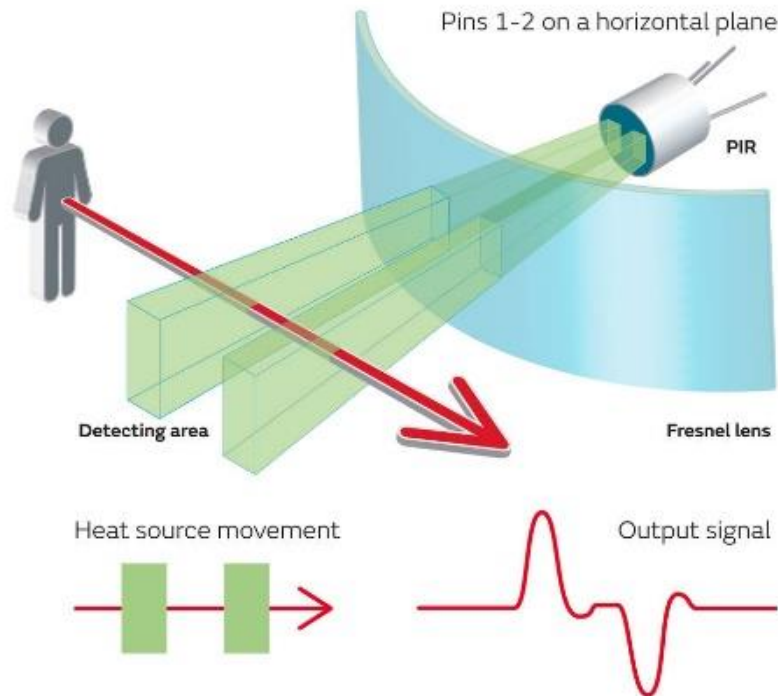


Sensori a baffo - www.automazionenews.it

offrendo perciò maggiori informazioni rispetto ai sensori a microinterruttore. I trasduttori piezoelettrici sono cristalli di quarzo che generano cariche elettriche quando vengono deformati lungo uno degli assi di sensibilità. Questi cambiamenti possono essere rilevati tramite picchi di voltaggio, le cui ampiezze sono indicative della forza della deformazione.

2.2.2 Sensori a infrarosso

I sensori a infrarosso IR sono largamente utilizzati nei robot mobili



Sensori a infrarosso - www.elettronicanews.it

per rilevare gli ostacoli, per far sì che durante il movimento, il robot sia in grado di evitare a prescindere l'ostacolo senza necessariamente avvicinarsi ed aggirarlo all'ultimo momento. I sensori a infrarosso operano mediante l'emissione di una luce infrarossa e il rilevamento della sua riflessione dovuta alle superfici poste di fronte al robot. Supponendo che tutti gli oggetti dell'ambiente in cui opera il robot abbiano una struttura con colori e superfici uniformi, i sensori a infrarosso possono essere calibrati in modo da misurare le distanze dagli oggetti: l'intensità della luce riflessa è inversamente proporzionale al quadrato della distanza. Nella realtà, tuttavia, le superfici degli oggetti possiedono colori

differenti, che riflettono quantità più o meno grandi di luce; le superfici nere, per esempio, sono praticamente invisibili all'infrarosso. Per tale ragione questi sensori possono essere effettivamente usati solamente per la ricerca degli oggetti, ma non per le misurazioni di distanza.

2.3. Apprendimento robotico

L'apprendimento robotico rappresenta l'anello di congiunzione fra la robotica e l'intelligenza artificiale; è il campo che studia e sviluppa nuove tecniche per fornire ad un robot delle nuove abilità. In particolare, dotare i robot di capacità di interazione simili all'uomo è uno degli obiettivi principali della robotica. L'apprendimento robotico affronta questo problema fornendo, per quanto possibile, al robot una capacità di apprendimento simile all'uomo. L'obiettivo finale di questo approccio consiste nel dotare i robot della capacità di: apprendere, migliorare, adattare e riprodurre abilità con vincoli che cambiano dinamicamente.

L'apprendimento dei movimenti da parte di un robot, è un aspetto fondamentale della progettazione e messa in opera di un robot e , come si vedrà nel prossimo capitolo, per l'utilizzo senza rischi, dei robot collaborativi in ambito sanitario.

L'apprendimento può avvenire in modi differenti, a seconda dello scopo per cui un robot viene pensato, ovvero per l'attività e per il luogo lavorativo in cui esso si troverà ad operare.

2.3.1 Apprendimento automatico : Machine Learning

Il Machine Learning ha lo scopo di insegnare ai robot a compiere azioni ed attività in modo naturale come gli esseri umani , imparando dall'esperienza o meglio, attraverso programmi di apprendimento automatico.

Gli algoritmi di Machine Learning usano metodi matematico-computazionali per apprendere informazioni direttamente dai dati, senza modelli matematici ed equazioni predeterminate, in modo da migliorare le loro prestazioni mano a mano che gli esempi da cui apprendere aumentano.

In italiano possiamo tradurre "Machine Learning" in "apprendimento automatico" inteso come abilità delle macchine di apprendere senza essere state esplicitamente e preventivamente programmate.

Ad oggi, la definizione più ben vista dalla comunità scientifica è quella fornita dall'americano Tom Michael Mitchell, direttore del dipartimento Machine Learning della Carnegie Mellon University:

«si dice che un programma apprende dall'esperienza E con riferimento a alcune classi di compiti T e con misurazione della performance P , se le sue performance nel compito T , come misurato da P , migliorano con l'esperienza E ».

Come precedentemente spiegato quindi, il Machine Learning permette ai sistemi di imparare dall'esperienza ; c'è apprendimento (esperienza) quando le prestazioni del programma migliorano dopo

lo svolgimento di un compito o il completamento di un'azione, anche errata, come il buon vecchio detto "sbagliando si impara".

Da una prospettiva informatica, non viene scritto alcun codice di programmazione attraverso il quale, generalmente, vengono fornite informazioni passo dopo passo alla macchina per dirle cosa fare: in questo caso, al programma vengono forniti solamente dei set di dati che vengono elaborati attraverso algoritmi che sviluppano una propria logica per svolgere la funzione, l'attività, il compito richiesti: gli algoritmi del Machine Learning.

Per comprendere al meglio quanto sopra citato, effettuando ulteriori ricerche, mi sono imbattuta in un articolo della casa automobilistica tedesca Volkswagen, la quale utilizza, come facilmente si può immaginare, l'intelligenza artificiale di un gran numero di robot industriali nelle loro aziende, in particolare nella fase di produzione del prodotto.

In collaborazione con l'azienda tedesca Wandelbots e attualmente in fase di test alla Fabbrica di Vetro di Dresda, è stato pensato un dispositivo indossabile tale per cui il robot sia in grado di imitare perfettamente i movimenti rilevati. Si tratta di una giacca dotata di nove sensori, posizionati su mani, braccia, spalle e busto : questi sensori registrano in tempo reale i movimenti di chi la indossa e inviano i dati direttamente al computer, che li processa per controllare il robot. Tutto avviene in una frazione di secondo: quando il tecnico alza il braccio, lo fa anche il robot . Il movimento riprodotto non è identico all'originale, perché gli di machine-

learning programmano i gesti tenendo conto delle caratteristiche strutturali del robot e cerca per quanto possibile, di ottimizzare movimento e prestazioni. Si potrebbe intendere questa modalità di apprendimento, in termini semplici, come un “apprendimento su imitazione o per dimostrazione”.

La dimostrazione non è per forza eseguita da un supervisore umano, ma si può osservare il comportamento di un altro robot. E' molto importante risolvere anticipatamente il problema delle corrispondenze, ovvero effettuare una trasformazione tra lo spazio del supervisore e quello del robot “alunno”, che permetta un corretto trasferimento di informazioni.

In pratica le soluzioni possibili sono due:

- viene collocata sul corpo del dimostratore una serie di sensori che raccolgono delle precise informazioni sul compito da imitare, metodo che risulta particolarmente efficace per la qualità dell'informazione che viene trasferita durante la dimostrazione. Risulta, inoltre, un approccio naturale se utilizzato per l'apprendimento di un robot umanoide. L'unico grande svantaggio è che l'equipaggiamento tecnologico necessario è spesso estremamente costoso, in quanto vengono utilizzati sensori specialistici e strutture apposite;
- il robot può osservare il comportamento dimostrato direttamente grazie all'ausilio di una telecamera, in questo caso i dati raccolti sono spesso inaffidabili e potrebbero portare a un errato apprendimento da parte del robot.

Rispetto all'utilizzo di sensori e apparecchiature costose risulta, però, un approccio molto più economico.

Ogni robot ha bisogno di una tempistica propria di apprendimento dei movimenti, a seconda della loro complessità. Un gesto semplice e ripetitivo richiede pochi minuti di apprendimento, mentre per quelli più complicati ci vogliono diverse ore. L'obiettivo in questi campi lavorativi, è di riuscire ad ottenere piccoli robot industriali che quotidianamente attendono l'arrivo dei colleghi per poi seguirli fino alla postazione di lavoro, apprendere rapidamente il compito assegnato e lasciarli in attività.

In ogni caso , ciò che è chiaro fin d'ora è che le macchine non dovranno sostituire le persone, ma supportarle in maniera efficiente.

2.3.2 Apprendimento con pianificazione di traiettoria

Di seguito si affronterà un argomento, a mio avviso, particolarmente interessante ed importante per il fine di questa tesi, in quanto la maggior parte delle applicazioni dei robot collaborativi in sanità, argomento discusso nel prossimo capitolo, implicano l'apprendimento con pianificazione (programmazione) di traiettoria in modo tale che il cobot possa riprodurre il medesimo movimento tutte le volte che sia necessario, minimizzando eventuali effetti indesiderati.

Questa tipologia di apprendimento si basa sulla pianificazione o generazione della traiettoria grazie ad una visuale 3D, al fine di stabilire la modalità con cui si vuole che evolva il movimento del robot, da una configurazione iniziale ad una configurazione finale desiderata.

L'obiettivo è definire sia il percorso geometrico da compiere, sia la legge di moto da realizzare in quanto posizioni, velocità ed accelerazioni dipendono dal tempo di esecuzione della traiettoria. In questo modo è possibile generare gli ingressi di riferimento al sistema di controllo e assicurare che il moto desiderato possa essere effettivamente eseguito.

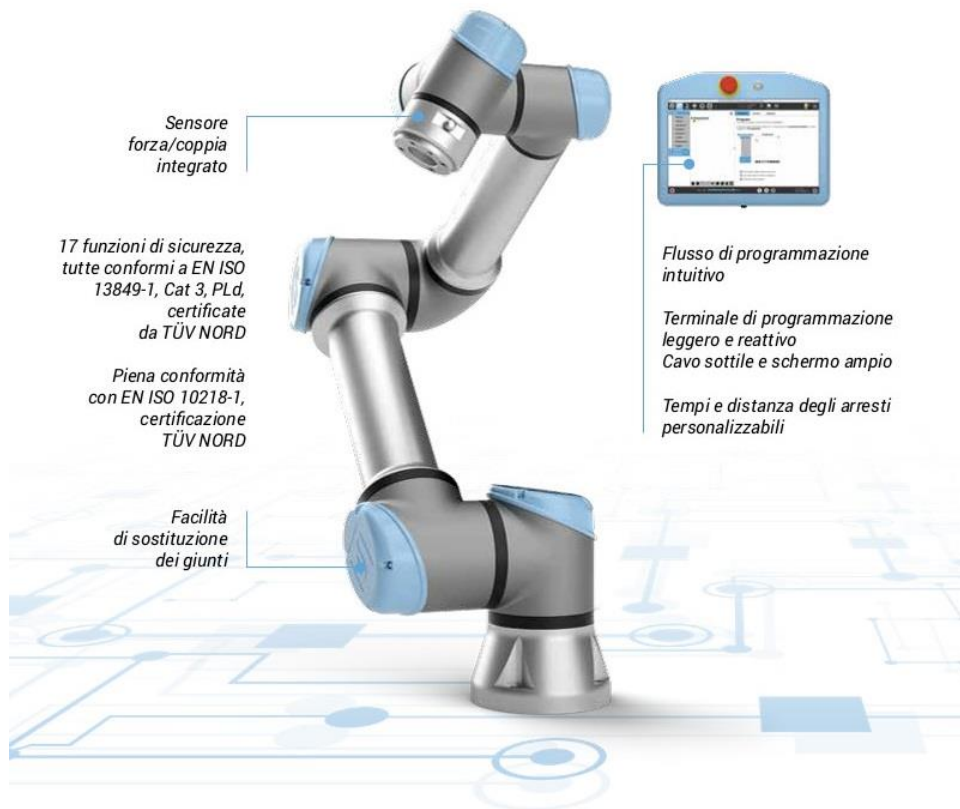
La pianificazione della traiettoria può essere affrontata nello spazio dei giunti, e successivamente nello spazio operativo, distinguendo tra il caso in cui vengano specificate le condizioni iniziali e finali del moto (moto punto-punto), e il caso in cui venga assegnata una sequenza di punti intermedi lungo il cammino (moto su percorso assegnato).

L'obiettivo che ci si pone nella pianificazione della traiettoria è di ottenere traiettorie da una configurazione iniziale ad una configurazione finale che abbiano curvatura quanto più possibile regolare. E' importante non confondere i concetti di percorso, cioè l'insieme dei punti che il robot deve descrivere, e di traiettoria ovvero un percorso su cui sia stata specificata una legge oraria in cui a ciascun punto corrisponda un istante di tempo specifico.

Le traiettorie possono essere pianificate in due differenti modi :

1. Nello spazio operativo : utilizzato quando si desidera che il moto si sviluppi lungo un percorso definito nello spazio operativo e quindi si pianifica la traiettoria direttamente in esso. Il percorso può essere caratterizzato dando N punti (waypoint) le cui componenti possono essere poi singolarmente raccordate . Nel caso in cui il moto dell'organo terminale deve rispettare una traiettoria con precisione, è necessario utilizzare delle primitive di moto, per descrivere le caratteristiche geometriche del percorso, in aggiunta a primitive di tempo, che attribuiscono una legge oraria al percorso stesso
2. Nello spazio dei giunti : si specifica direttamente l'andamento desiderato per la posizione, la velocità e l'accelerazione dei singoli giunti, rispettando i vincoli imposti. Possiamo operare un'ulteriore distinzione.

A scopo puramente informativo, si può citare l'esistenza di un'ulteriore modalità di programmazione semplificata tramite tablet, che rende il robot programmabile da chiunque senza particolari requisiti.



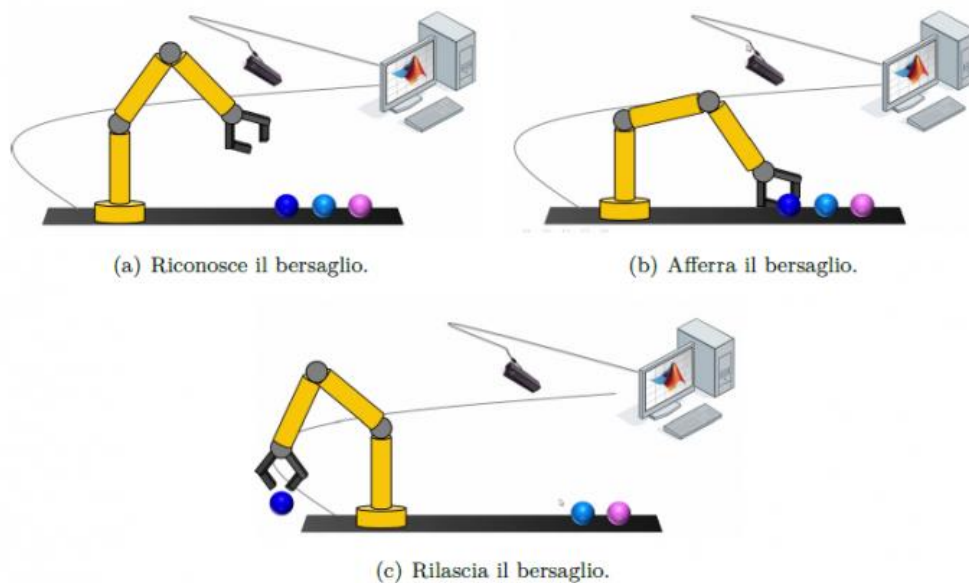
Modalità di programmazione robotica semplificata mediante tablet - <https://www.tecoma.net/ita/prodotti/universal-robots-robot-collaborativi>

2.3.3 Pianificazione traiettoria tramite simulazione in Matlab/Simulink

Tratto dall'articolo "Progettare un robot pick and place in MATLAB/Simulink" di Giuseppe Silano del 9 Giugno 2020 :

L'articolo affronta lo sviluppo di un'applicazione "pick and place" per un robot manipolatore in ambiente MATLAB/Simulink in collaborazione con l'azienda multinazionale privata MathWorks.

L'articolo mostra come rilevare e riconoscere un oggetto attraverso una fotocamera RGB-D, eseguire calcoli di cinematica diretta ed inversa, e generare la traiettoria di un braccio manipolatore in



Traiettorie generate tramite fotocamera RGB-D -

<https://it.emcelettronica.com/progettare-un-robot-pick-and-place-in-matlab-simulink>

presenza di ostacoli lungo il percorso. La chiave di lettura data all'articolo è educational, dunque l'intero approccio è descritto ad alto livello lasciando poi al lettore il compito di approfondire ed entrare nel dettaglio tecnico implementativo degli aspetti presentati.

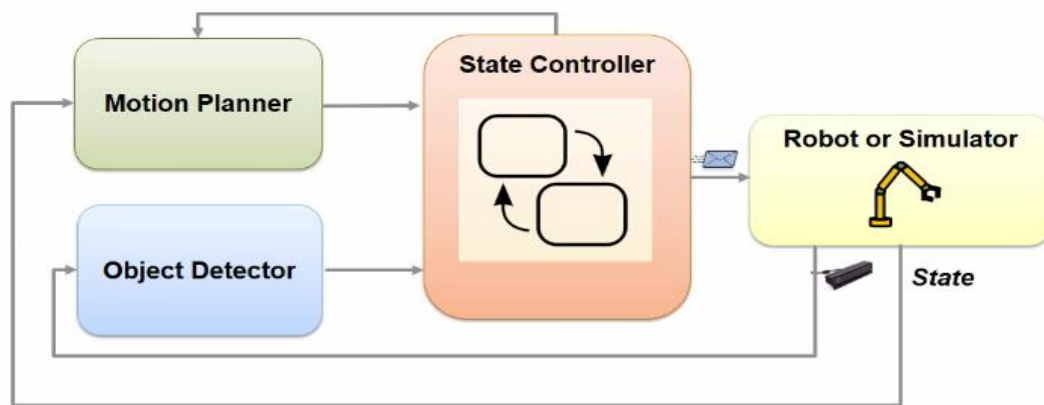
L'obiettivo è individuare oggetti specifici dall'immagine catturata dal sensore, pianificare una traiettoria da seguire, per poi afferrare l'oggetto bersaglio spostandolo in una posizione differente da

quella iniziale, esempio che riguarda applicazioni nel campo della smart manufacturing, che coinvolge aspetti quali:

- la pianificazione della traiettoria;
- l'individuazione e la stima della posizione degli oggetti;
- l'integrazione di tutte le componenti hardware e software.

Per poter affrontare un problema di questo tipo è necessario avere conoscenza:

- della teoria della robotica e dell'ottimizzazione (matrici di rotazione, Newton-Eulero, Lagrange, etc.);
- del trattamento delle immagini tramite machine learning;
- dell'utilizzo di simulatori esterni di dinamica 3D ;
- di generazione automatica di codice sorgente .

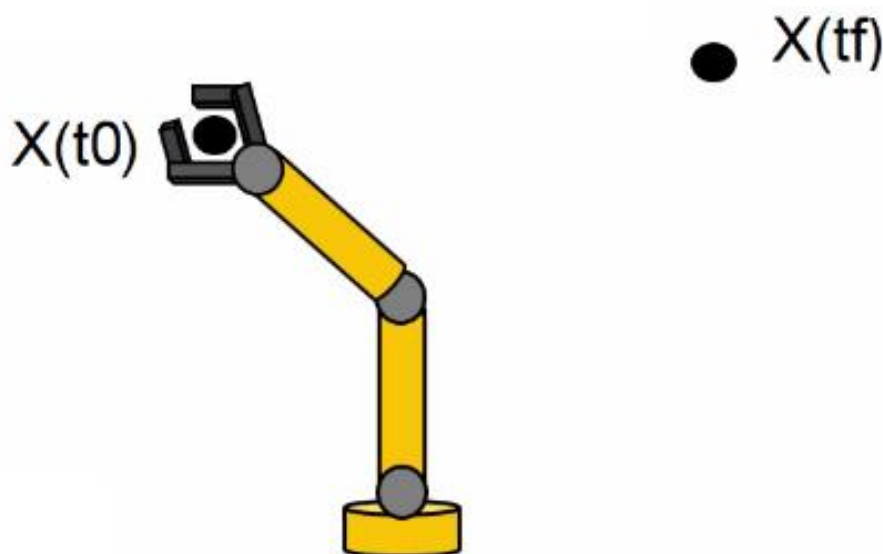


Pianificazione del lavoro in Matlab SIMULINK-

<https://it.emcelettronica.com/progettare-un-robot-pick-and-place-in-matlab-simulink>

Si inizia da una descrizione dell'applicazione ad un livello di astrazione elevato.

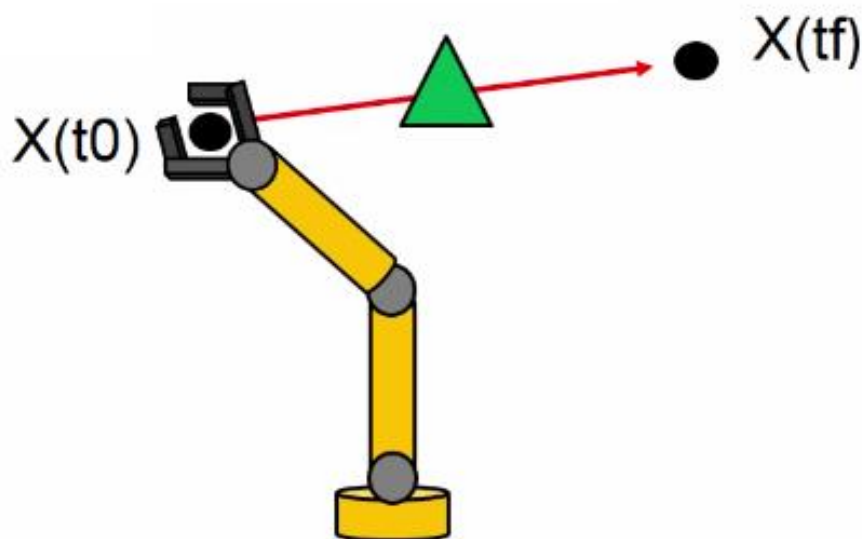
Nello schema, un riconoscitore di oggetti (object detector) processa le informazioni provenienti dal sensore RGB-D, oltre alle immagini a colori, fornisce anche una misura di profondità, e ritorna di un identificativo della posizione presunta dell'oggetto bersaglio. Il pianificatore di traiettoria (motion planner) determina un percorso a partire dallo stato iniziale e finale del robot, mentre il sistema di supervisione (state controller) gestisce le interazioni tra i diversi componenti e restituisce i profili di moto angolare da fornire al simulatore o, nel caso reale, agli azionamenti del robot; l'attuazione nei robot manipolatori è fornita fornendo coppia ai motori posizionati nei giunti.



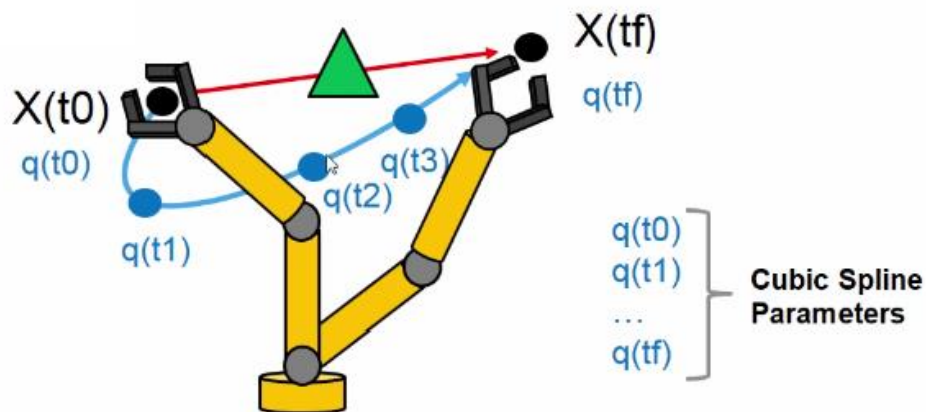
Motion Planner - <https://it.emcelettronica.com/progettare-un-robot-pick-and-place-in-matlab-simulink>

Il generatore di traiettoria (motion planner) utilizza le informazioni su posizione iniziale e finale del robot nello spazio cartesiano, fornite dal processo di riconoscimento del bersaglio,

per calcolare i profili di moto delle varie sezioni del braccio robotico generando così la traiettoria richiesta. La traiettoria più semplice da ottenere è ovviamente la retta, la quale potrebbe essere sottoposta a vincoli come la presenza di ostacoli lungo il percorso. In questo caso, le spline cubic ,costituiscono una, ma non l'unica, soluzione al problema. Le spline cubic consentono di generare una traiettoria capace di aggirare l'ostacolo e si prestano bene per l'ottimizzazione del lavoro. Una spline è una funzione matematica costituita da un insieme di polinomi raccordati tra loro, il cui scopo è interpolare in un intervallo di tempo, un insieme di punti ,detti nodi della spline, in modo tale che la funzione sia continua almeno fino ad un dato ordine di derivate in punto dell'intervallo.



Spline - <https://it.emcelettronica.com/progettare-un-robot-pick-and-place-in-matlab-simulink>

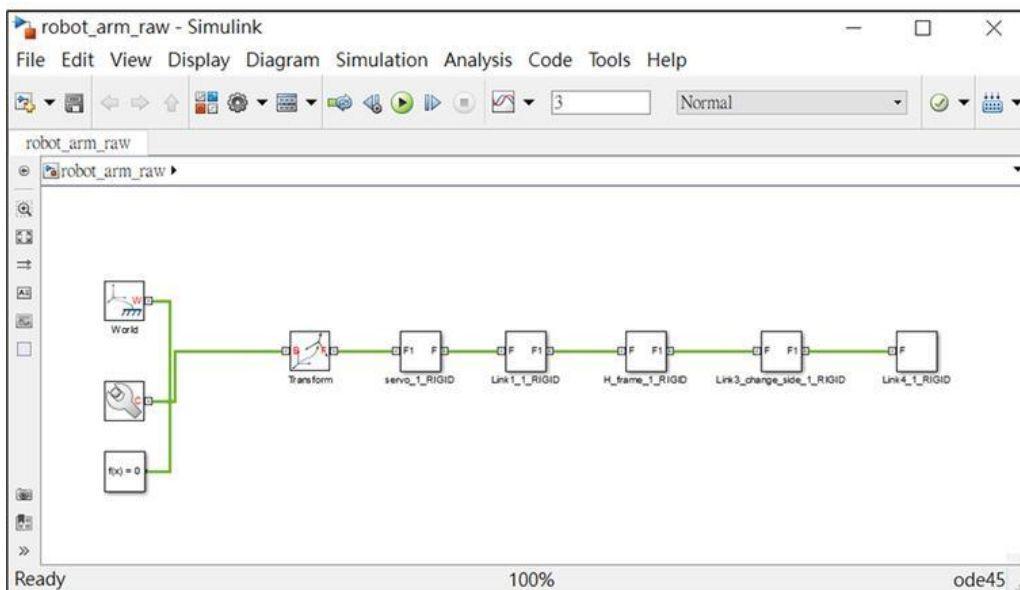
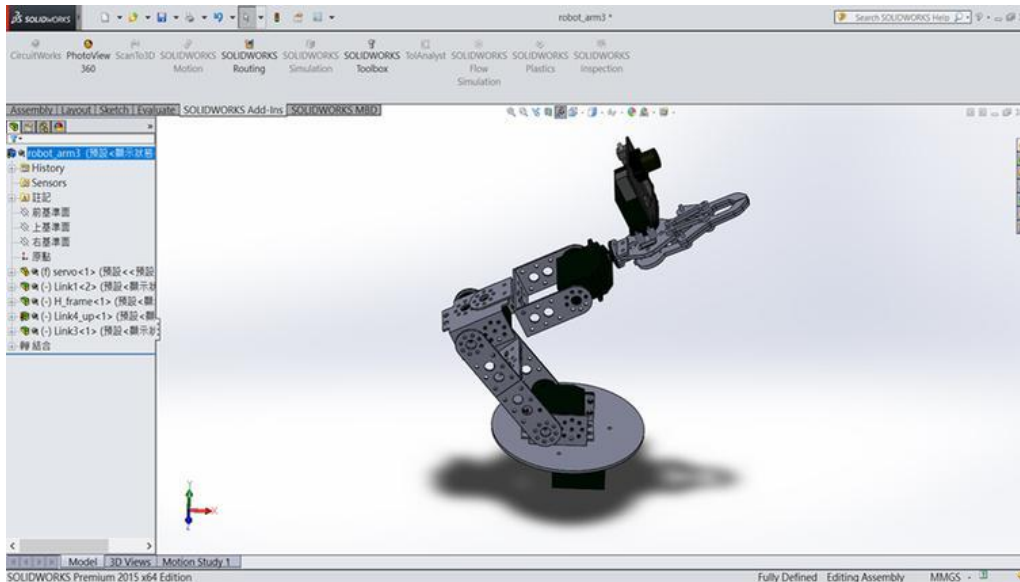


Spline Parameters - <https://it.emcelettronica.com/progettare-un-robot-pick-and-place-in-matlab-simulink>

Si parte da una rappresentazione del robot in MATLAB per risolvere problemi di cinematica inversa (a partire dalle posizioni nello spazio, si calcolano gli angoli dei giunti $q(t)$ partendo dalla rispettiva posizione iniziale e finale, tenendo in conto i vincoli imposti nel caso specifico. Successivamente si costruisce il robot in Simulink e servendosi degli strumenti di ottimizzazione, si calcolano i parametri delle spline cubic, al fine di ottenere una traiettoria estremamente regolare: il tutto può essere strutturato in ambiente MATLAB/Simulink .

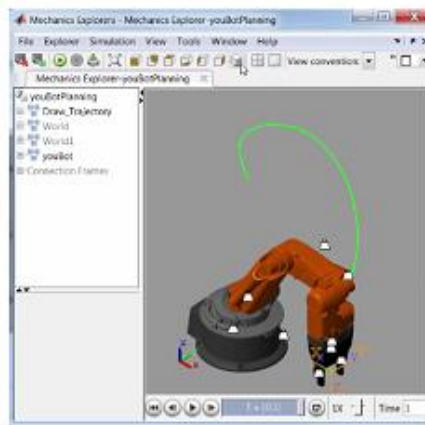
Il toolbox consente di creare un albero di trasmissione del moto ed uno rigido per il calcolo della cinematica diretta ed inversa, particolarmente utile quando si lavora con il generatore di traiettoria. Inoltre, servendosi del supporto grafico, è possibile osservare la struttura del robot effettuando calcoli di cinematica diretta.

Ponendo in secondo piano l'ambiente MATLAB, si può utilizzare quello Simulink per modellare il comportamento del robot.



Simulink Robot Plane - <https://it.emcelettronica.com/progettare-un-robot-pick-and-place-in-matlab-simulink>

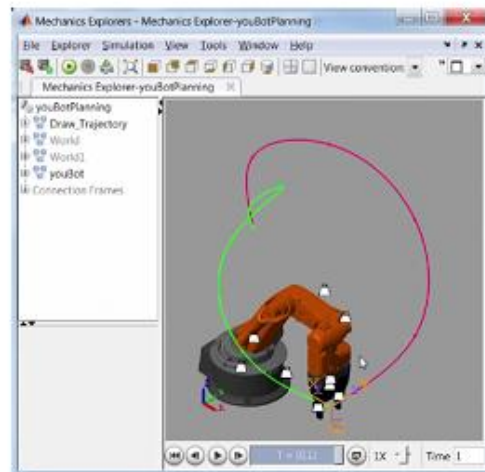
L'utilizzo dello schema Simulink consente di visualizzare il comportamento del robot con un elevato grado di dettaglio



(a) Traiettoria semplice.



(b) Traiettoria ottima.

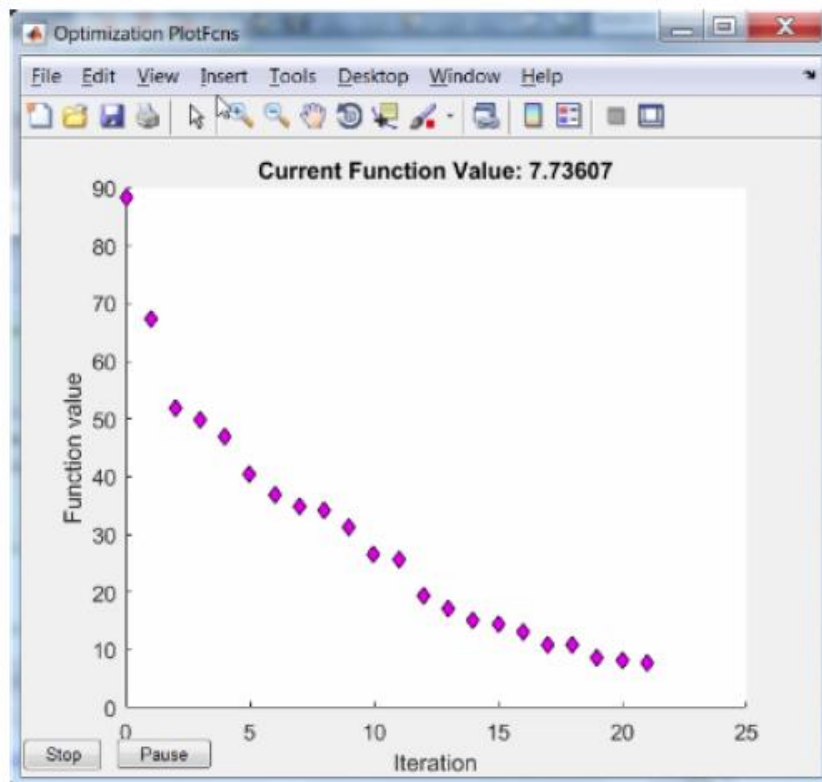


(c) Confronto traiettorie

Confronto traiettorie - <https://it.emcelettronica.com/progettare-un-robot-pick-and-place-in-matlab-simulink>

facilitandone la configurazione all'interno del modello. Inoltre, è possibile risolvere il problema di cinematica diretta ed inversa calcolando le coppie coinvolte, ottimizzando i parametri del sistema. Rilevante, nella libreria di modellazione di Simulink, è la facilità con cui è possibile sostituire la coppia, supponendo di inserire un azionamento elettrico, con la potenza elettrica andando così a modificare il problema di partenza di ottimizzazione.

Utilizzando il modello appena descritto è possibile osservare graficamente, il braccio mentre percorre la traiettoria più semplice composta da soli punti discreti equivalenti ai parametri da ottimizzare : la traiettoria è ottenuta collegando lo stato iniziale e finale del robot. Servendosi della funzione `fmincon` della Toolbox, si risolve il problema, ricavando la traiettoria migliore e minimizzando il costo di lavoro, aspetto importante da non sottovalutare.



Esempio di Traiettoria ottimale - <https://it.emcelettronica.com/progettare-un-robot-pick-and-place-in-matlab-simulink>

I risultati finali possono essere riportati in un grafico Matlab iterazioni/funzionalità di costo in cui si evidenzia che l'ottimizzazione di traiettoria, abbattendo costi di gestione.

Capitolo 3 : Robotica collaborativa



Sfida al lavoro del venire - www.avvenire.it/economia

Con il capitolo 3, si entrerà nel vivo dello scopo di questa tesi sulla robotica collaborativa.

I capitoli precedenti , possono essere intesi come una premessa tecnica utile a comprendere l'importanza e le opportunità che i robot collaborativi sono in grado di fornire, grazie al loro utilizzo quotidiano industriale e, nel caso specifico, in campo medico.

3.1 Industria 4.0

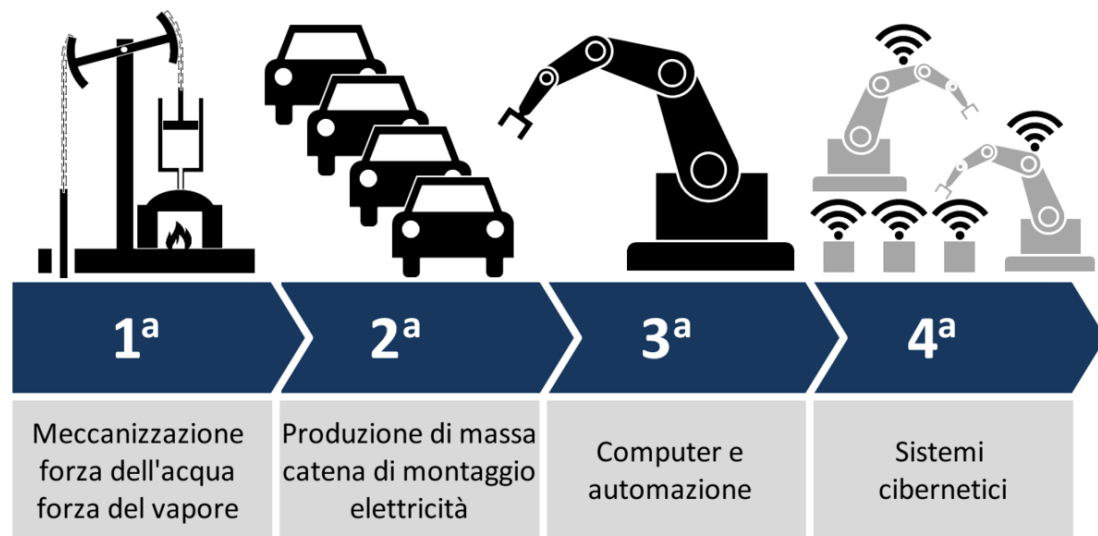
L'Industrial Internet of Things (IIoT) consiste nell'applicazione estensiva del paradigma dell'IoT, in congiunzione con l'intelligenza artificiale (AI), al settore industriale. L'industria 4.0 (I4.0) riprende

ed espande ulteriormente il modello IIoT, attraverso l'inclusione dell'automazione e della robotica nei processi industriali.

Le rivoluzioni industriali sono gli standard del settore che denotano il cambiamento della tecnologia che viene impiegata in un determinato periodo di tempo, soprattutto in termini di industrie manifatturiere e di produzione. Tutto è iniziato con la prima rivoluzione industriale nel 17 ° secolo, in cui l'acqua e il vapore venivano utilizzati per alimentare la meccanizzazione di macchine che per la prima volta rivoluzionarono l'industria manifatturiera. Ha permesso alle fabbriche di impostare la produzione di massa e le linee di assemblaggio, mentre in seguito, durante la seconda rivoluzione industriale alla fine del XVIII secolo, fu in quel momento che l'elettricità fu aggiunta all'equazione e i motori a vapore furono sostituiti da motori che funzionavano con energia elettrica. Nel corso degli anni, insieme ai progressi della tecnologia, i computer e le macchine automatiche hanno assunto il ruolo di automatizzare e aumentare ulteriormente la capacità delle linee di produzione e assemblaggio nella terza rivoluzione industriale alla fine del XIX secolo.

Il concetto recente e più avanzato di rivoluzione industriale è la 4a rivoluzione industriale o Industria 4.0, coniata in Germania nel 2011 . Avanza la tendenza dell'automazione attraverso l'uso della digitalizzazione e della produzione in rete. Con l'avvento dell'Internet of Things (IoT), dei sistemi cyber-fisici e del cloud

computing, Industry 4.0 facilita e induce concetti avanzati basati sulla suddetta tecnologia per creare "fabbriche intelligenti".



Lavoro e quarta rivoluzione : riflessioni – Rivista Ciclonet

L'idea dell'I 4.0 è quindi quella di sistemi cyber-fisici interconnessi mutuamente retroazionati e controllati per mezzo di sistemi di intelligenza artificiale (Gilchrist, 2016). L'Industria 4.0 e l'IIoT, oltre a far leva sulle prime tre rivoluzioni industriali, fanno leva su una vasta gamma di tecnologie e innovazioni quali l'Intelligenza Artificiale (AI) e il Machine Learning, la stampa 3D, il cloud computing, l'Internet of Things (IoT) e la robotica (Faramondi et al., 2018). Prese singolarmente, nessuna di queste tecnologie ha una portata dirompente e determinante in grado di stravolgere i processi industriali, ma la loro concertazione rende possibili tre attività essenziali:

- 1) la capacità di misurare, quindi di collezionare e conservare grandi quantità di dati;
- 2) la possibilità di comunicare e condividere questi dati in tempo reale;

3) la capacità di inferire, quindi di analizzare velocemente le informazioni per trarne conclusioni utili per supportare il processo decisionale.

Queste tre attività, se integrate, possono esercitare effetti rivoluzionari sulla produzione e sul consumo. In particolare consentono di implementare sistemi produttivi più flessibili, decentralizzati e con un alto grado di personalizzazione

3.1.1 Cosa sono i robot collaborativi

L'idea robot collaborativi è nata per la prima volta da una missione di ricerca del 1995 guidata dalla Fondazione General Motors. La missione mirava a trovare un modo in cui robot o apparecchiature simili a robot potessero collaborare in sicurezza con gli umani nei rispettivi ambienti.

Questa iniziativa ha prodotto i primi robot collaborativi che non avevano una fonte di alimentazione interna, fatto per garantire la sicurezza umana.

Per robotica collaborativa, si intende quindi l'utilizzo a stretto contatto in ambito lavorativo, tra uomo ed i "cobot", o più semplicemente robot collaborativi. Diversamente dai robot industriali, i cobot non vengono programmati prima di essere inseriti nelle linee di produzione, ma vengono istruiti "in loco", per replicare i movimenti compiuti dall'operatore umano, con maggiore o minore autonomia, in base alla complessità dell'attività cui sono preposti.

In effetti, in riferimento al capitolo capitolo 2.3 , con particolare attenzione al paragrafo 2.3.2 , l'apprendimento robotico tramite Machine learning o per imitazione, è il principale mezzo di istruzione della macchina .

Un tratto distintivo dei cobot, è la capacità di risposta al crescente bisogno di flessibilità e personalizzazione del mondo manifatturiero e possono dunque essere riprogrammati o re-istruiti per nuove mansioni quando necessario, anche grazie all'integrazione di organi di presa specifici o personalizzati. Un robot collaborativo è dotato anche di funzioni di sicurezza e sensori integrati che arrestano il movimento della macchina quando viene rilevata una resistenza maggiore o una forza esterna. Inoltre, parti del robot collaborativo (giunti, ecc.) sono realizzate con materiali sicuri per assorbire energia in caso di collisione con una persona o sono coperte (completamente, parzialmente) da questi materiali. Alcuni robot collaborativi sono persino programmati per spegnersi immediatamente se esiste un potenziale pericolo per un operatore umano nelle vicinanze.

Gli aspetti principali di questa categoria di manipolatori sono riassumibili in semplici proposizioni chiave :

- I cobot hanno un comportamento sicuro e intelligente

Questa classe di robot è progettata per funzionare perfettamente a fianco dei lavoratori umani. A differenza dei normali robot che potrebbero ferire una persona nelle loro vicinanze, i robot collaborativi utilizzano una tecnologia visiva avanzata e sono dotati di sensori sofisticati che consentono loro di rilevare le

persone e interrompere o modificare la loro attività. Grazie a questi progressi, i cobot non hanno bisogno di protezioni interposte tra esso e l'uomo, per garantire che le persone intorno a loro siano al sicuro;

- I cobot cooperano con gli umani

Il classico robot da industria è autonomo e una volta impostato per svolgere una determinata attività da un programmatore esperto, viene lasciato eseguire il compito seguendo il programma prefissato.

I cobot, d'altra parte, lavorano con le persone e si comportano in modo intelligente. Sono lasciati liberi, proprio come qualsiasi altro personale, per lavorare in collaborazione con altri lavoratori. Aiutano a completare attività complesse che non possono essere completamente automatizzate. Sono utili in un processo che è altamente ripetitivo o in attività pesanti ;

- I robot collaborativi possono essere insegnati

I Cobot sono altamente flessibili e non richiedono alcuna conoscenza di esperti per la programmazione. Hai solo bisogno di un tablet per impostare il programma richiesto . Come già visto e ripetuto, alcuni possono anche essere programmati semplicemente spostando il braccio nella sequenza richiesta (apprendimento per imitazione o programmazione di traiettoria). Tali modelli di cobot apprendono effettivamente i requisiti in modo indipendente senza bisogno di particolare programmazione.

Un tecnico potrebbe semplicemente eseguire un movimento seguendo un determinato schema con il braccio del robot e lo imiterà.

- Puoi usare i cobot praticamente ovunque

Con i loro sensori sofisticati e la tecnologia di imaging avanzata, i robot collaborativi, possono essere utilizzati ovunque. Rileveranno oggetti o persone lungo il percorso e si fermeranno quando necessario. Sono anche leggeri e facili da spostare e da utilizzare in punti diversi dall'area di produzione.

Ciò è in completo contrasto con i classici robot industriali che sarebbero tipicamente pesanti e progettati per funzionare in modo autonomo in un ambiente fisso.

3.1.1 Vantaggi e svantaggi dell'utilizzo del robot collaborativo

Principali vantaggi dell'utilizzo di robot collaborativi:

- Sfrutta al meglio lo spazio limitato cioè funziona con un ingombro ridotto e , come precedentemente affermato, non richiede dispositivi periferici come recinzioni, consentendo agli operatori di spostarsi in sicurezza ;
- Prevenire lesioni : elimina la necessità per gli esseri umani di maneggiare parti e sostanze pericolose ;
- Migliora l'ergonomia dello spazio di lavoro :riduce la necessità per le persone di piegarsi continuamente o assumere posizioni scomode ;
- Fornire flessibilità su piccoli lotti e lavori personalizzati : svolge attività ripetitive e consente agli operatori umani di concentrarsi su incarichi qualificati ;
- Controllo di qualità snello : assiste l'operatore nello svolgimento delle ispezioni in sicurezza senza rallentare o interrompere la produzione;
- Non implica programmazione interna.

Seguono alcuni dettagli tecnici di esempio , del Robot CR-7ia , utilizzato principalmente in laboratorio. La capacità di carico è di 7 kg e il suo sbraccio massimo è di 911 mm. Il campo di lavoro del giunto base è di 370 ° con ripetibilità: $\pm 0,018$ mm. Il peso dell'unità meccanica è di 55 kg ed è azionato da servomotori AC digitali. Non è richiesta alcuna calibrazione a causa del rilevamento della posizione assoluta. Inoltre, i riduttori RV sono

altamente affidabili e robusti. Dal punto di vista della sicurezza, questo robot è conforme alla Direttiva Macchine CE (CE - Marchio) e ha una flangia ISO.

Al contrario , i principali svantaggi :

- Elevato costo di reperibilità ;
- Stop di lavorazione a metà o in corso d'opera nell'eventualità di contatto umano ;
- L'ottenimento del massimo potenziale da sfruttare , è possibile solo utilizzando parecchi accessori.

3.1.2 Stato attuale dell'arte dei robot collaborativi

I robot collaborativi sono un campo di ricerca relativamente recente e molto attivo. Sin dal suo avvento, l'obiettivo principale dei produttori e dei ricercatori di robot collaborativi è stato quello di migliorare l'aspetto della sicurezza umana durante l'interazione uomo-robot, aumentando la capacità di carico utile del robot e allo stesso tempo mantenendo e migliorando la mobilità e la flessibilità in collaborazione robot. Alcuni dei maggiori contributori e produttori in questo campo includono Universal Robotics, Rethink Robotics, ABB Inc. Robotics, KUKA Robotics, LBR Med, Omron e così via.

Universal Robotics condivide una parte abbastanza ampia della robotica collaborativa globale, mentre lo stato attuale di robot collaborativo all'avanguardia è UR16e di Universal Robotics. È

dotato di 6 gradi di libertà e rilevamento di forza / coppia sulla flangia dell'utensile, con un impressionante peso di 16 kg di capacità di carico utile. Combina l'elevato carico utile con uno sbraccio di 900 mm e una ripetibilità di posa di +/- 0,05 mm, rendendolo ideale per l'automazione di attività quali movimentazione di materiali pesanti e movimentazione di pezzi.

3.2 Robot collaborativi in sanità

L'industria 4.0 interesserà tutti i settori compresa la vita quotidiana e non come sarebbe potuto pensare, solo le fabbriche. In questo studio, sono stati analizzati i possibili effetti dell'evoluzione dell'industria 4.0 sul settore sanitario, inclusi in particolare i dispositivi medici. Concettualmente, lo scopo è di ottenere una produzione di qualità superiore, più economica e più veloce attraverso l'acquisizione dell'intero processo di produzione da parte della robotica intelligente nell'industria 4.0. Nel settore sanitario in particolare, affronteremo un nuovo concetto come Industria medica 4.0. Molti argomenti, anche per ottenere una maggiore accuratezza e rapidità nella diagnosi, stabilire sistemi informativi ospedalieri più sicuri, rendere i dispositivi medici più efficienti, innovativi e utili anche utilizzando i principi di base usciti da Industry 4.0, sono trattati con il concetto di Industria medica 4.0.

Nasce infatti, il concetto di " Hospital 4.0" : è un'estensione del paradigma Industria 4.0 ,fondato su tre colonne portanti (Faramondi et al., 2018):

1. un'onnipresente diffusione di sensori che monitorano costantemente il paziente;
2. sistemi di connessione veloci ed efficaci, che facilitano lo scambio massiccio di informazioni in tempo reale;
3. capacità di conservare, recuperare ed elaborare grandi quantità di dati (Big Data). Anche per l'H4.0 (Hospital 4.0), l'integrazione di questi tre fattori rappresenta l'elemento di transizione da un tradizionale sistema di controllo centralizzato e passivo a uno distribuito sul territorio e attivo. Tale sistema è costantemente aggiornato riguardo le condizioni del paziente e, prevedendo in anticipo eventuali situazioni di emergenza, è in grado di adottare autonomamente le necessarie contromisure correttive.

3.2.1 Industria 4.0 e riabilitazione

Ci sono delle innovazioni tecnologiche che possono cambiare significativamente la relazione e interazione tra l'utente e il professionista nel momento stesso in cui viene erogato il trattamento sanitario. Le tecnologie coinvolte sono prevalentemente quelle robotiche, combinate a quelle della realtà virtuale e all'intelligenza artificiale.

Doverosa è una premessa: parlare di Cobot in ambito medico non è come parlare di Cobot in ambito industriale: se in ambito industriale infatti il focus è l'aumento e il miglioramento degli standard produttivi, in ambito medico l'obiettivo è il miglioramento del servizio erogato ai pazienti in termini di affidabilità, accuratezza

e riduzione della variabile umana; inoltre se nel settore manifatturiero l'avvento dei Cobot ha sollevato il personale umano dai compiti più gravosi, ripetitivi o pericolosi, in ambito medico l'intervento dei Cobot amplifica le possibilità di intervento umano, offrendo ai pazienti possibilità diagnostiche, chirurgiche e riabilitative altrimenti impossibili, ma sempre prevedendo il ruolo primario da parte dell'operatore umano.

L'ambito in cui questa combinazione di elementi tecnologici sta dando forma a un vero e proprio stravolgimento del rapporto paziente-professionista durante il trattamento è la riabilitazione. Robot che supportano i fisioterapisti e che, attraverso collegamenti audio-video, possono controllare i pazienti, misurarne i progressi riabilitativi e monitorarne lo stato di salute tramite sensori tattili e indossabili; esercizi e programmi personalizzati. C'è chi parla addirittura di «nuova era della riabilitazione» (Movendo Technology) o di «rivoluzione della riabilitazione nella quale l'attività del terapeuta viene sempre più mediata, supportata e valorizzata dalla tecnologia». Non si tratta ancora di «robot umanoidi» che, a detta degli esperti del settore, appartengono ancora a un mondo fantascientifico, ma ci sono delle tecnologie robotiche «intelligenti» che automatizzano il trattamento e che pertanto riducono il contatto diretto professionista-utente: i cobot.

Il fisioterapista si riconverte così sempre più in un tutor e supervisore della prestazione, consentendogli eventualmente di incrementare il numero di pazienti presi in carico contemporaneamente. Da una analisi desk e dalle interviste agli

operatori del settore, possiamo raggruppare le tecnologie robotiche in riabilitazione secondo diverse prospettive mutualmente inclusive:

1. La patologia: i robot possono essere utilizzati in moltissimi ambiti riabilitativi e patologie, da quelle neurologiche sia del sistema nervoso centrale che di quello periferico, a quelle ortopediche, a casi di pazienti sottoposti ad amputazioni; La robotica collaborativa riabilitativa, è inoltre impiegata in ambito neurologico per la rieducazione funzionale post-ictus, per il trattamento di malattie degenerative del sistema nervoso centrale e di lesioni del sistema nervoso periferico facendo svolgere al paziente esercizi di controllo posturale, di equilibrio, core stability;
2. Il distretto corporeo: ci sono sistemi robotici tecnologici che riabilitano l'arto superiore (spalla, braccio, avambraccio, mano) e altri dedicati all'arto inferiore che riabilitano nella funzione del cammino. Ci sono, inoltre, robot costruiti per la riabilitazione della funzione dell'equilibrio;
3. Caratteristiche meccaniche: ci sono sistemi esoscheletrici e sistemi end effectors. I primi si "indossano" e rivestono l'arto, mentre, i secondi, si agganciano alla parte terminale del segmento corporeo riabilitato (alla mano o al piede) lasciando quindi libero l'arto;
4. Grado di portabilità: oltre a popolare le palestre di riabilitazione ci sono robot che possono essere installati in casa o essere addirittura portatili;

5. Mix di tecnologie utilizzate: meccanica, bio-sensori e ambienti virtuali;
6. Grado di assistenza fornita al paziente durante il trattamento: passiva, attiva o interattiva. Nel primo caso si impostano gli esercizi per la mobilizzazione articolare e il paziente non partecipa al movimento con la contrazione muscolare volontaria. Nel secondo l'arto viene mosso attivamente dal paziente e il dispositivo può assistere e/o partecipare al movimento, senza però sostituirsi all'arto. Nel terzo il dispositivo reagisce agli input del paziente per fornire un feedback e modulare una strategia di assistenza. che permette di eseguire sia esercizi in stazione eretta con appoggio bipodalico che monopodalico.

La robotica collaborativa riabilitativa, è inoltre impiegata in ambito neurologico per la rieducazione funzionale post-ictus, per il trattamento di malattie degenerative del sistema nervoso centrale e di lesioni del sistema nervoso periferico facendo svolgere al paziente esercizi di controllo posturale, di equilibrio, core stability.

3.2.2 Studio sullo stato dell'arte della robotica in sanità

Per comprendere lo stato attuale della robotica nella sanità, la Commissione europea ha pubblicato uno studio dell'andamento dell'evoluzione in questo campo. Lo studio riportato di seguito, ha coperto l'ampio dominio dell'assistenza sanitaria e in questo

documento vengono evidenziati i domini rilevanti per la robotica riabilitativa.

La robotica per la sanità è un campo emergente che dovrebbe crescere di fronte al cambiamento demografico (invecchiamento), alla prevista carenza di personale sanitario, alle richieste di miglioramento della qualità della vita per anziani e disabili e alla necessità di cure di qualità ancora più elevata esempio chirurgia di alta precisione. Tutti questi fattori stimolano l'innovazione nel dominio della Robotica per la Sanità. Diversi programmi e reti dedicati alla ricerca sulla robotica stanno già concentrando parte dei loro sforzi sulle applicazioni nel settore sanitario. L'obiettivo principale di questo studio è fornire raccomandazioni strategiche di ricerca chiave per l'applicazione della robotica nella sanità. Un altro obiettivo dello studio è aumentare la consapevolezza su questi importanti nuovi sviluppi tra un pubblico più ampio. Il rapporto sullo stato dell'arte ha presentato lo stato dell'arte della robotica per la sanità su un gran numero di applicazioni e tecnologie abilitanti. Oltre a questo stato dell'arte dell'applicazione dei robot nel settore sanitario, il rapporto descrive una panoramica delle tecnologie abilitanti, una descrizione delle esigenze degli utenti riguardo ai domini selezionati e infine una panoramica dei programmi e delle iniziative di finanziamento pertinenti.

Questo studio ha inizialmente identificato i seguenti cinque principali temi di innovazione:

- Robotica per interventi medici
- Robotica a supporto dell'assistenza professionale

- La robotica ha assistito terapie preventive e diagnosi
- Tecnologia assistiva robotica
- Robotica per cure riabilitative

All'interno di questi temi di innovazione, sono state ulteriormente identificate 21 aree di innovazione. Ai fini di questo piccolo estrapolato di documento, sono rilevanti solo gli ultimi due temi. Le aree di innovazione all'interno del tema Tecnologie assistive sono state:

1. Sistemi robotizzati a supporto della manipolazione;
2. Sistemi robotizzati a supporto della mobilità.

Sulla base di un sondaggio tra le parti interessate e in stretta collaborazione con la CE, sono state selezionate delle 6 aree di innovazione più rilevanti delle 21 e sono state preparate tabelle di marcia della ricerca:

- Capsule mediche intelligenti
- Protesi intelligenti
- Sistemi robotizzati di monitoraggio dei pazienti
- Chirurgia robotizzata
- Analisi e terapia della coordinazione motoria robotizzata
- Terapia mentale, cognitiva e sociale assistita da robot

In conclusione, poiché il settore complessivo della robotica nella sanità è ancora un'area emergente con successi e fallimenti, al momento non è possibile trarre una conclusione finale sulla traiettoria futura. Ciononostante, l'identificazione di fattori trainanti, barriere e sfide sarà utile per guidare lo sviluppo nella direzione desiderata per ottenere una maggiore qualità, sicurezza e disponibilità delle cure e un passaggio alla prevenzione.

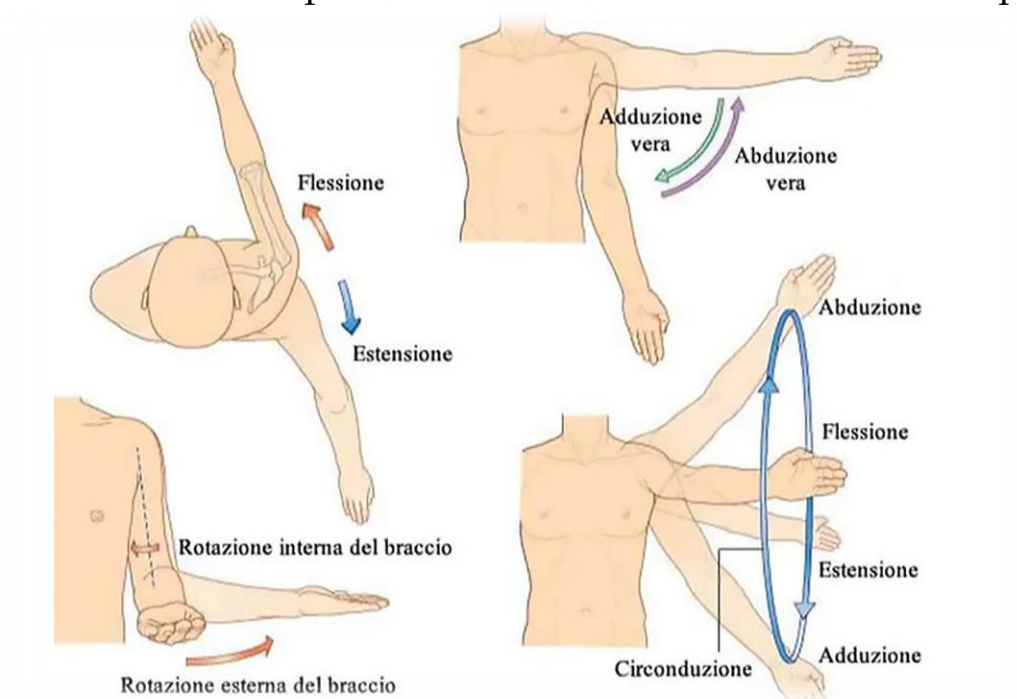
Dal lato delle parti interessate, ad esempio pazienti, medici, ospedali, istituti di cura, compagnie di assicurazione sanitaria e autorità, sembra che la maggior parte di loro consideri gli sviluppi molto interessanti per il futuro, ma pochissimi mostrano una spinta urgente a cambiare a queste nuove applicazioni in questo momento.

Capitolo 4. L'Arto superiore

Cenni generali di anatomia dell'arto superiore, analizzando i componenti principali, le loro fratture e di conseguenza la riabilitazione prevista, sia tradizionale che robotica.

4.1 Arto superiore : componenti e movimenti

Il movimento dell'arto superiore può essere suddiviso nei movimenti della spalla, del braccio, dell'avambraccio e del polso ,



Movimenti consentiti arto superiore - Meccanica articolare della spalla, Formative zone

con i relativi moti possibili : per la spalla individuiamo la rotazione attorno ad un asse parallelo al piano frontale (moto di ante-retroposizione) e la rotazione attorno ad un asse perpendicolare

allo stesso piano frontale (elevazione-abbassamento della spalla) ; per il braccio sono consentiti abduzione-adduzione, flesso-estensione, rotazione interna-esterna ; per l'avambraccio flesso-estensione e prono-supinazione della mano; per il polso solamente flesso-estensione e abduzione-adduzione.

E' possibile definire questi movimenti mediante descrizione di un modello cinematico a 7 gdl (3 gdl della spalla, 1 o 2 del gomito e altri 3 o 2 del polso. Questi gdl vengono realizzati fisicamente mediante le articolazioni presenti nell'arto stesso. Di seguito una breve descrizione delle principali ossa costituenti l'arto superiore :

- Scapola : osso piatto e sottile triangolare che si adatta anteriormente alla gabbia toracica e posteriormente alla clavicola mediante la spina;
- Clavicola : osso lungo a forma di "S" estesa trasversalmente davanti alla prima costa;
- Omero : osso lungo che si articola con scapola, ulna e radio;
- Radio : osso lungo che occupa la parte laterale dell'avambraccio e si articola con omero, ulna e carpo;
- Ulna : osso lungo che occupa la posizione mediale dell'avambraccio e si articola con omero e radio;
- Carpo : costituito da 8 ossa brevi disposte su due file , articolato in metacarpo costituito da 5 ossa lunghe (le dita) , formate a loro volta dalle falangi.

4.2 Riabilitazione dell'arto superiore : aspetti generali

La riabilitazione dell' arto superiore è un tema estremamente ampio.

Coinvolge il recupero funzionale in pazienti con lesioni di carattere sia neurologico che ortopedico a seguito di patologie o traumi.

Riguarda la riabilitazione delle diverse parti anatomiche che la compongono: spalla, gomito, polso e mano.

Come per tutte le tipologie di riabilitazione, l'obiettivo è quello di riportare la componente interessata al miglior recupero funzionale possibile. Ad aumentarne la complessità è il suo funzionamento, che dipende dalla stretta collaborazione tra il sistema motorio-sensitivo e abilità cognitive.

La spalla è la più mobile di tutte le articolazioni del corpo umano e proprio per questo motivo risulta essere la più complessa e la più instabile. Le patologie più comuni che la riguardano sono: tendinopatie, lesione alla cuffia dei rotatori, instabilità, sindrome da impingement e artrosi gleno-omeroale.

Scendendo al gomito, articolazione delicata legata a problematiche di natura traumatica (fratture) e problematiche più comuni legate alle tendinopatie come l'epicondilite e l'epitrocleite.

Un'altra delicata articolazione che fa parte dell'arto superiore, è il polso, le cui problematiche più comuni sono nella maggior parte legate ad un trauma acuto, come una forte distorsione o una frattura, oppure a un problema cronico, come le artriti o la sindrome del tunnel carpale.

Oltre a tutte le problematiche di natura ortopedica, è necessario tenere in considerazione quelle di natura neurologica.

A seguito di un ictus, ad esempio, la perdita di funzionalità nell'uso dell'arto superiore rappresenta uno dei principali fattori condizionanti la disabilità.

Per quanto concerne la mano, in particolare, dopo un danno neurologico i pattern di attivazione e la dinamica, ne risultano spesso molto compromessi, richiedendo trattamenti mirati e specifici.

Ogni articolazione e ogni relativa problematica richiedono un protocollo riabilitativo specifico: ad esempio sfruttando la tecnologia a biofeedback di Riablo e WeReha.

Con Riablo lavoriamo in maniera mirata su spalla e gomito, grazie ai sensori inerziali che il paziente dovrà indossare tramite opportune fasce elastiche. WeReha è invece pensato specificatamente per la mano e la riabilitazione post-ictus, grazie ai sensori inerziali inseriti all'interno. Tramite i sensori, è possibile tracciare i movimenti dei pazienti e trasmetterli al software.

Il software li elabora producendo un feedback visivo-uditivo che guida l'utente nella corretta esecuzione degli diversi compiti motori.

Tra gli esercizi di Riablo idonei a questo scopo troviamo:

- **Hummer Curl:** esercizio di flesso-estensione del gomito che, grazie ai sensori posizionati sul braccio e sul polso, riporta in tempo reale al paziente l'informazione relativa all'angolo di flesso-estensione dell'articolazione.
- **Wrist Rotation:** esercizio per allenare la prono-supinazione dell'avanbraccio grazie al sensore posizionato sul polso che ne registra l'angolo di rotazione sull'asse longitudinale dell'avanbraccio.

Lo scopo di WeReha invece, è quello di allenare i movimenti della mano, stimolando contemporaneamente l'aspetto cognitivo.

I giochi permettono di esercitare la presa di piatti o oggetti larghi, bicchieri o oggetti più fini, come ad esempio un joystick.

Inoltre, un semplice software basato sulla presenza di indici di rotazione, flesso-estensione e prono-supinazione dell'arto superiore, si ha un feedback intuitivo, per evidenziare i progressi del percorso riabilitativo e motivare quindi il paziente a migliorarsi giorno dopo giorno.

4.2.1 La spalla : tecniche di riabilitazione tradizionale

I movimenti della spalla sono molto complessi e generati da diverse articolazioni anatomiche e fisiologiche che si stabiliscono tra le diverse ossa presenti : scapolo-omerale , sotto-deltoidica , scapolo-toracica , acromion-clavicolare , sterno-costoclavicolare . In particolare la scapolo-omerale o glenomerale, permette rotazione triassiale di omero rispetto alla scapola, mentre le altre il movimento della scapola rispetto alla cassa toracica. Il tutto risulta avvolto dalla capsula articolare indispensabile per mantenere in sede l'articolazione. Di notevole importanza è la cuffia dei rotatori, costituita dai tendini di intersezione dei muscoli della spalla, che contribuisce alla stabilità dell'articolazione. L'articolazione glenomerale, consente tre gdl rotatori (giunzione sferica) a cui si aggiungono l'elevazione, l'anteposizione e la retroposizione della spalla rispetto al torace.

La situazione di rottura che più frequentemente possiamo trovarci davanti, è la rottura della cuffia dei rotatori: può avvenire sia per un evento traumatico, come risultato di un movimento errato, di un eccessivo carico o di un impatto, sia per via degenerativa, più lentamente, a causa di continui stress dell'articolazione o come frutto della degenerazione indotta dall'invecchiamento.

Più frequentemente è un insieme di questi due elementi che portano alla rottura tendinea: a causa di fenomeni degenerativi inizia un fenomeno di "assottigliamento" del tendine che può poi evolvere sia spontaneamente che in seguito a traumi o sforzi anche banali in una

rottura completa. Questa è solitamente caratterizzata da dolore nella parte anteriore della spalla, specialmente se la causa della rottura è di natura traumatica: il dolore, può essere irradiato anche all'intero braccio, specialmente quando compie movimenti come alzare il gomito sopra la spalla o appoggiarlo a una superficie. Quando la rottura deriva invece da una condizione cronica, il dolore si manifesta con intensità variabile nel tempo ed è inoltre accompagnato da una maggiore difficoltà nel compiere movimenti, che hanno un raggio più limitato, e dall'impossibilità di sollevare pesi anche modesti.

In base alla natura ed alla gravità della situazione, si può ricorrere ad un intervento chirurgico nel caso peggiore, o ad un periodo di riposo.

Nel primo caso, a seguito di un intervento chirurgico e successivo riposo di circa 4 settimane , è previsto un programma riabilitativo che prevede esercizi :

- Sollevamento delle spalle;
- Esercizi pendolari;
- Rotazione esterna interna con ausilio di un bastone;
- Elevazione;

4.2.2 Il gomito : frattura e riabilitazione tradizionale

L'articolazione del gomito presente al suo interno , altre tre articolazioni: omero-ulnare; omero-radiale e radioulnare prossimale. Il movimento principale di flessione estensione è garantita

dall'articolazione omeroulnare assieme ad una rotazione pura attorno ad un asse fisso.

Data l'assenza di cuscinetti di protezione ed essendo un'articolazione molto esposta, è spesso fratturata : possiamo avere una lesione ossea per estensione cioè trauma indiretto perché la parte lesa non entra in contatto diretto con il punto di impatto (caduta al suolo di un bambino che si protegge mettendo le mani); fratture da flessione il trauma avviene con il gomito atteggiato in posizione di iperflessione, in queste condizioni la parte distale dell'omero viene portata anteriormente a differenza di quella restante che è spostata all'indietro.

L'obiettivo dell'intervento riabilitativo deve permettere al paziente di apprendere le modalità di controllo sugli elementi sulla rigidità articolare, sulla ipotrofia muscolare, e ai possibili disturbi sensoriali post interventi chirurgici o patologie degenerative. Gli esercizi proposti sono divisi per gradi, in cui i primi sono finalizzati al recupero della frammentazione del gomito in relazione alla spalla per riapprendere i movimenti di flesso-estensione del gomito; i successivi, prevedono la ricostruzione delle relazioni variabili tra i movimenti del gomito e quelli del polso e quindi il recupero dei movimenti di prono-supinazione dell'avambraccio; successivamente sono esercizi che il paziente può eseguire autonomamente su precisa indicazione del terapista.

4.2.3 Polso e mano : frattura e riabilitazione tradizionale

L'articolazione del polso comprende la radio-ulnare distale, cioè un gigliano laterale e permette la pronosupinazione, e la radio-carpica.

La mano è costituita da numerose ossa che costituiscono il carpo e il metacarpo, tra le quali sono possibili movimenti di piccola entità ma che consentono alla mano di assumere diverse forme.

La riabilitazione deve sempre essere eseguita rimanendo sotto la soglia del dolore e deve tener presente l'affaticabilità del paziente. Gli obiettivi principali del progetto riabilitativo sono la diminuzione della sintomatologia antalgica, il recupero delle prese, la ridinamizzazione della mano in funzione del gomito e della spalla nelle attività quotidiane, il reinserimento del paziente nella propria vita sociale con la minor disabilità possibile. Il primo obiettivo è la diminuzione dell'infiammazione e del dolore con l'utilizzo di crioterapia, di correnti antalgiche di lieve mobilizzazione attiva, passiva e assistita, e di mantenimento di posture delicate e progressive. Successivamente, si passa ad una fase di esercizi attivi di contro-resistenza e tonificazione muscolare

4.3 Riabilitazione dell'arto superiore con l'utilizzo dei robot collaborativi

Nell'ultimo decennio è nato un crescente interesse verso la creazione ed il controllo di apparecchi robotici per la riabilitazione seguente un danno neurologico. Le terapie fisiche tradizionali possono migliorare il recupero funzionale, ma sono costose,

richiedono molta forza lavoro e devono essere durature. Per questo, l'utilizzo dei robot è benefico, in quanto richiede una forza lavoro minore, permette una terapia più duratura, più intensa, rende possibile una valutazione oggettiva e quantitativa della disabilità del paziente, fornendo stimoli multisensoriali modificati. Un dispositivo robotico può essere considerato come un'estensione della Virtual Reality in quanto, oltre a permettere tutti i vantaggi da essa offerti, è caratterizzato da un'interazione di forza con il paziente guidandolo nel movimento. Il campo della riabilitazione motoria robot-assistita ha inizio nel 1997 con la pubblicazione dei risultati del primo studio clinico del MIT-MANUS, un robot planare per la riabilitazione dell'arto superiore, che si concluse con risultati positivi di pazienti post-ictus, che hanno ricevuto un'assistenza robotica oltre alla terapia tradizionale.

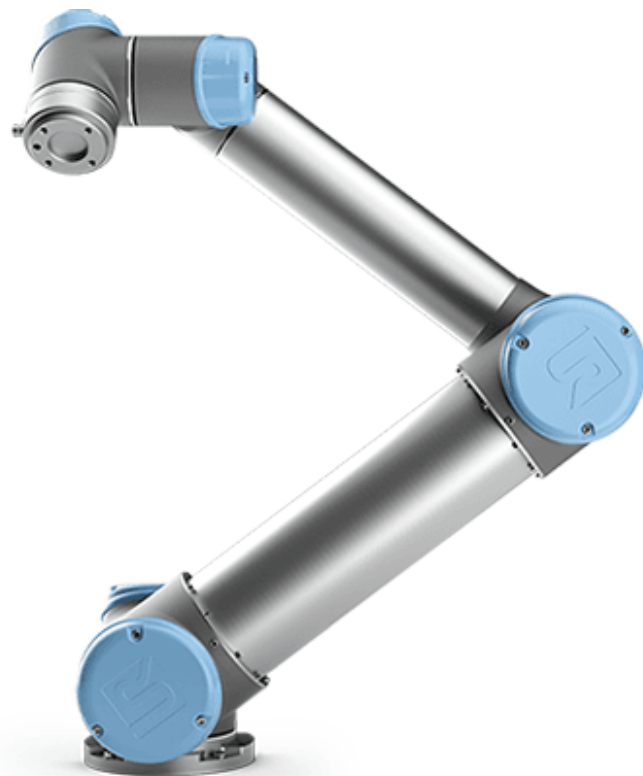
Tuttavia, i miglioramenti significativi nell'abilità motoria riscontrati, giustificano il training ripetitivo di movimenti come una valida strategia per il recupero dell'impedimento dell'arto superiore emiparetico, con o senza l'uso di dispositivi robotici : come spiegato nei capitoli precedenti infatti, il grande vantaggio dei robot collaborativi , è proprio la loro capacità di apprendimento per imitazione, con successiva capacità di ripetizione del movimento senza interruzione.

4.3.1 Riabilitazione robotica nei pazienti post-ictus degli arti superiori

Attualmente, i pazienti colpiti da ictus sono trattati con una combinazione di fisioterapia stazionaria e ambulatoriale ed inoltre

sono stati sviluppati diversi sistemi robotici per superare le sfide associate alla terapia convenzionale, a vantaggio dei sistemi sanitari e dei pazienti. I dispositivi di riabilitazione robotica hanno il potenziale per ridurre lo sforzo fisico posto sui terapeuti a causa delle interazioni tra il terapeuta e il paziente che coinvolgono movimenti ripetitivi ad alta intensità per ripristinare le funzioni delle braccia e delle mani. Negli ultimi anni sono stati sviluppati numerosi dispositivi robotici personalizzati per aiutare nella riabilitazione fisica dei pazienti con ictus, ma la maggior parte di loro, sono ad alto costo a causa dei bassi volumi di produzione e degli alti costi di sviluppo.

Una nuova classe di robot manipolatori industriali è stata progettata per lavorare insieme agli esseri umani, inclusi robot



UR5 Universal Robot - WiredWorkers

KUKA LBR iiwa, i robot Universal Robots UR, progettati appositamente per ridurre al minimo le lesioni nelle collisioni tra l'uomo e il robot e sono inoltre dotati di funzioni di rilevamento e limitazione della forza. Alcuni hanno persino sensori sul corpo del manipolatore per consentire al robot di identificare quale collegamento è in contatto con l'essere umano.

L'UR5 è un manipolatore industriale a sei assi leggero ed economico con una portata di 850 mm e un carico utile massimo di 5 kg. L'UR5 è conforme al punto 5.10.5 della norma EN ISO 10218-1: 2006, il che implica che il robot UR5 può operare in stretta prossimità degli esseri umani e dispone di diversi meccanismi di sicurezza integrati come un arresto di protezione che si attiva se un al robot viene applicata una forza superiore a 150 N.

Di seguito vengono riportate tre strategie generiche di controllo di alto livello per esercizi di addestramento alla riabilitazione robotica standard: una strategia assistiva che aiuta il paziente e due strategie basate sulla sfida che resistono al movimento del paziente per aumentare lo sforzo :

- La modalità Buoyancy è una strategia di allenamento assistiva mirata ad aiutare il paziente a eseguire movimenti o attività in tutti e sei i DOF riducendo il peso percepito del braccio affetto. La quantità di forza che il manipolatore applica per contrastare il peso del braccio del paziente con ictus può essere definita fino a una forza di compensazione massima consentita di 25 N ;

- La modalità Resistenza è una strategia di allenamento che applica una resistenza ai movimenti generati dal paziente in tutti e sei i DOF . L'obiettivo è aiutare i pazienti con ictus che padroneggiano la coordinazione occhio-mano, per migliorare la forza muscolare ;
- La modalità casuale è una strategia di allenamento che genera vettori casuali con una grandezza fino a ± 15 N in direzioni casuali utilizzando un leggero incremento e per un intervallo di tempo casuale compreso tra 2 e 4 secondi.

I movimenti che un robot collaborativo è in grado di riprodurre nella fase di riabilitazione sono :

- Il test di portata funzionale : consiste in un movimento di abduzione e un movimento di adduzione dell'arto superiore sui piani sagittale, frontale o trasversale ;
- La prova del bere : imita il movimento di un paziente quando beve da una tazza. Questo movimento fa parte dell'obiettivo iniziale di mangiare senza assistenza ed è un'attività motivante che migliora notevolmente la sensazione di indipendenza e la qualità della vita dei pazienti. Il test consente inoltre al paziente di eseguire esercizi riabilitativi specifici con oggetti reali e funzionali.

Analizzando ad esempio quest'ultima prova, l'obiettivo è raggiungere con una mano aperta una tazza posta sul tavolo, afferrare saldamente il manico, portare la tazza alla bocca, prendere una piccola bevanda, riportare la tazza nella posizione originale e riportare il mano alla posa iniziale.

I risultati mostrano i movimenti complessi associati all'attività di bere. La portata funzionale iniziale verso la tazza si sposta

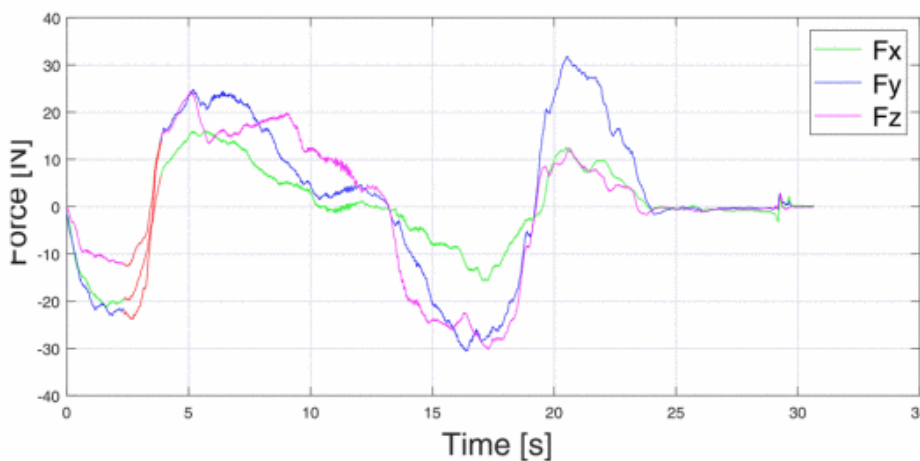
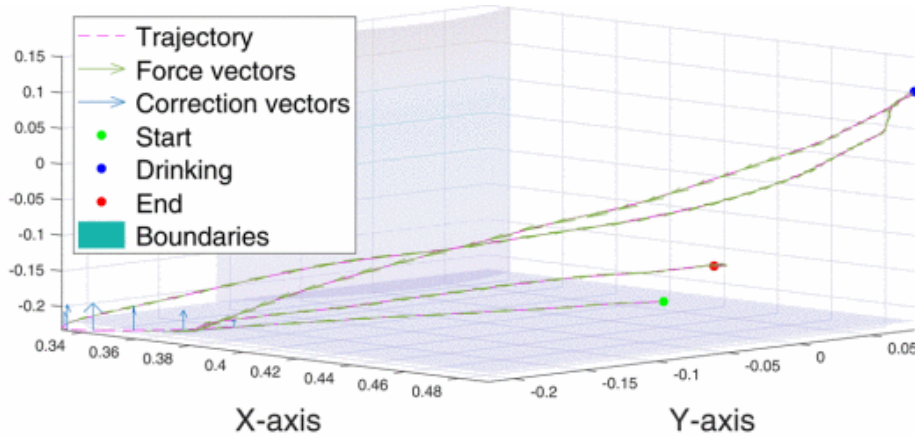


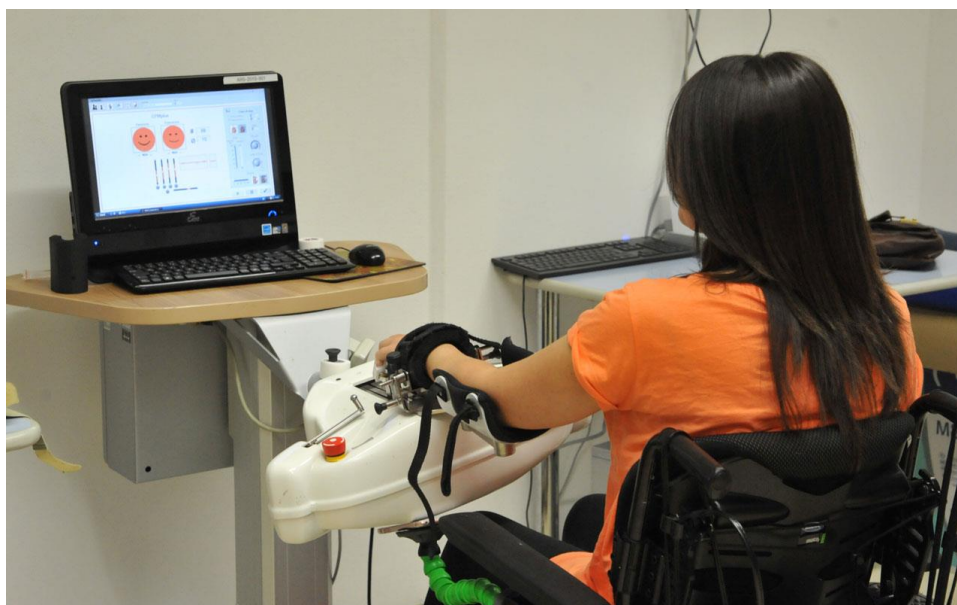
Grafico risultante dallo studio - IEEE Xplorer, "Feasibility oh the UR5 Industrial Robot for robotic rehabilitation of the upper limbs after stroke

leggermente al di fuori dello spazio di lavoro virtuale nella parte più bassa della traiettoria. Il raggiungimento funzionale verso la bocca è seguito da una pausa mentre l'operatore beve. La tazza viene riposta sul tavolo con una portata funzionale appena contenuta all'interno dello spazio di lavoro virtuale. La mano viene ritratta verso la sua posizione iniziale da un tratto funzionale

in cui è ferma per il resto della prova di bere. La traiettoria mostra vettori di forza che puntano costantemente lungo di essa. In conclusione si mostra quindi, che può essere fattibile utilizzare il robot manipolatore collaborativo industriale standard 6-DOF UR5 nell'addestramento riabilitativo con robot degli arti superiori dopo l'ictus. I risultati consentono di personalizzare un'ampia gamma di movimenti e strategie di controllo per la riabilitazione robotica . Ulteriori lavori si concentreranno sulla valutazione della fattibilità del robot, utilizzando tecniche di riabilitazione clinica in stretta collaborazione con i terapeuti e su studi clinici con i pazienti per valutare i risultati della riabilitazione del sistema proposto.

4.3.2 Sistema Amadeo

È il primo sistema robotico per la riabilitazione della dita. Il campo d'uso parte con la fase acuta iniziale, nella quale si può optare per una terapia di movimento passivo (CPM) della mano allenata fino ad arrivare ad un controllo del movimento attivo del paziente assistito da robot con Biofeedback integrato.



Le dita del paziente sono collegate al sistema Amadeo® tramite l'uso di magneti connessi alle punte delle dita. Il programma CPM permette la simulazione del movimento fisiologico di presa, e altri movimenti tipici delle dita (a onda, di pizzico, random). Oltre alla forza isometrica di ogni dito il sistema calcola e visualizza anche la forza misurata durante ogni ripetizione del movimento di presa (flessione ed estensione). Un parametro ulteriore informa sulla regolarità dell'applicazione della forza.

Il software calcola il rapporto percentuale del campo di movimento attivo e passivo e lo visualizza graficamente e quantitativamente. Per ogni dito viene calcolato in automatico il rapporto tra zona attiva e passiva, un fattore di regolarità ed il rapporto percentuale totale.

→ OBIETTIVI TERAPEUTICI AMEDEO

- MIGLIORA capacità di presa, movimenti individuali delle dita, coordinazione motoria
- RIDUCE spasticità, tono, monotoni

4.3.3 KUKA medical robots

L'ingresso di KUKA nel mondo dei robot medici è iniziato con i grandi robot industriali. I robot di grandi dimensioni continuano a svolgere un ruolo importante come componenti dei prodotti medici . I vantaggi sono evidenti : i pazienti ne traggono vantaggio e

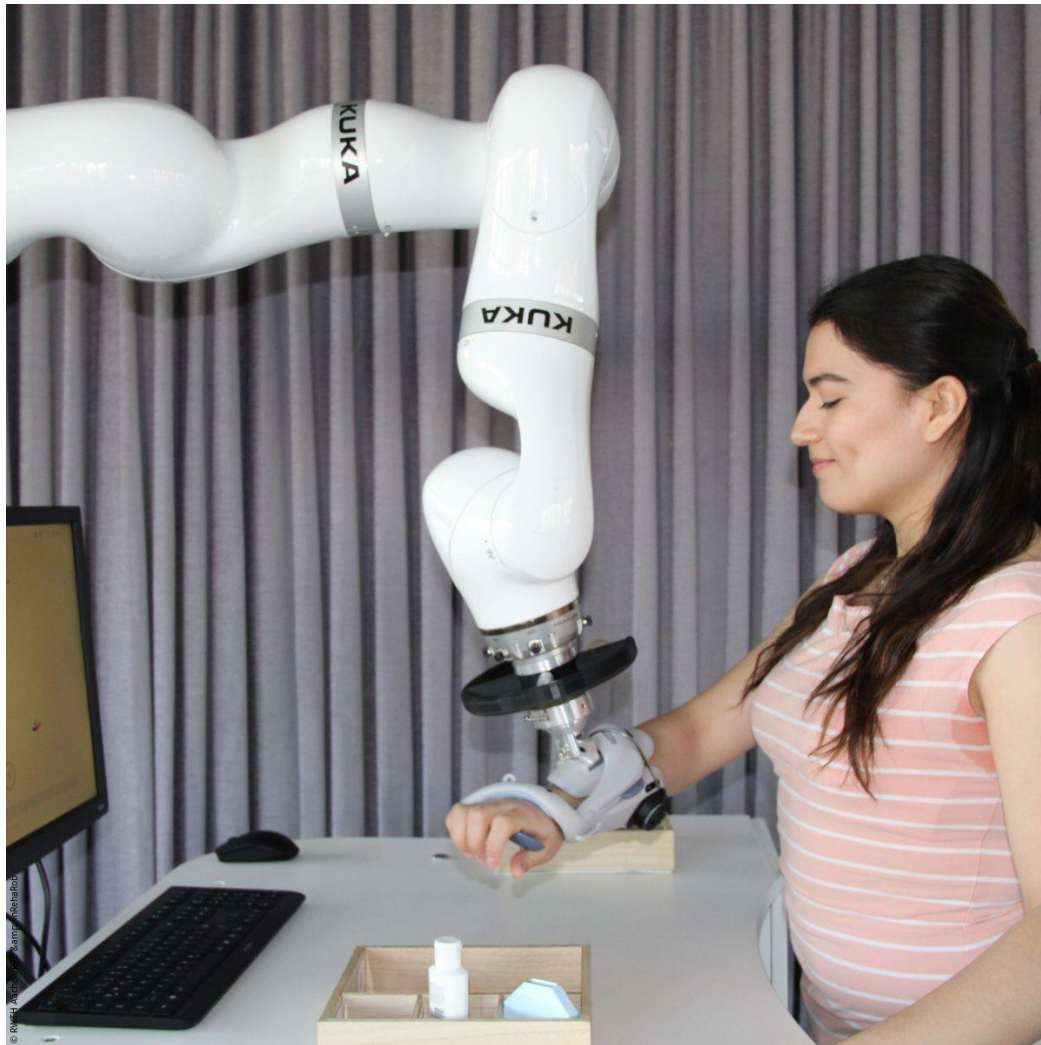


KUKA Medical Robots

fornisce loro una maggiore sicurezza e precisione del trattamento. I robot sensibili stanno diventando sempre più importanti in applicazioni in cui lavorano i robot più piccoli e sensibili con medici e terapisti, assistendoli con il trattamento . Questi robot sensibili presentano uno sguardo verso il futuro come componenti di prodotti medici in una varietà di applicazioni. Un esempio è MURAB, un progetto di ricerca che mira ad aumentare la precisione e l'efficacia delle biopsie nel cancro al seno diagnosi

utilizzando uno scanner a ultrasuoni controllato da robot. Anche la disponibilità del mercato si sta avvicinando a CARLO®, il cui obiettivo è quello di migliorare radicalmente l'intervento chirurgico ortopedico sostituendo gli strumenti di taglio meccanici con Fotoablazione e robotica laser "freddo" senza contatto.

Il robot sensibile integrato in queste applicazioni è l'LBR Med di KUKA, l'abbreviazione tedesca di "Medicina robotica leggera". La tecnologia di base per il robot è nata in tedesco Aerospace Center (DLR), dove un robot leggero e sensibile braccio è stato sviluppato per l'uso nello spazio. KUKA ha adottato il robot come parte di un trasferimento tecnologico e lo ha ulteriormente sviluppato. Quali sono i vantaggi di LBR Med? È l'unico componente robotico certificato secondo lo schema CB, in modo che i nostri clienti possano integrarsi facilmente nei loro prodotti medici ed inoltre, dispone di sensibilità integrata. Questo è un grande vantaggio per i produttori di prodotti medicali.



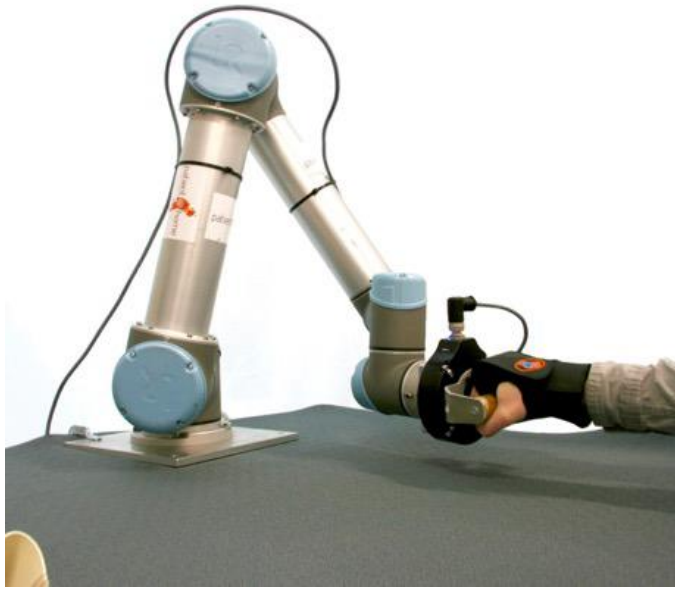
KUKA Medical Robot - <https://www.medicatradefair.com>

4.3.4 UR5 Robot : progetto patient@home

Il progetto “ Universal Robotrainer – Rehabilitative training, WP1.1 di Jacob Nielsen” , ha come scopo di esaminare la fattibilità dell'utilizzo di un prodotto standard robot industriale per la riabilitazione dell'arto superiore , in particolare con l'ausilio del robot UR5. Il progetto prevede :

- collaborazione con il Dipartimento di neuroriabilitazione presso OUH Svendborg Ospedale

- Ricerca e co-sviluppo del terapeuta robotico in scenari di interazione paziente con terapeuti umani presso OUH Svendborg.
- Nessun vero paziente incluso!
- Collaborazione di studenti e dottorandi.



Patient@home -Universal Robotrainer – Rehabilitative training, WP1.1
Jacob Nielsen

I risultati ottenuti sono stati i seguenti :

- Investigazione umana - fiducia nei robot
- Pacchetto software sviluppato per controllare il robot per :
 - Movimento del robot basato sul sensore Force Torque
 - Interfaccia browser touch per la configurazione dei pazienti, registrazione ed esercizi di formazione
 - Algoritmi per l'individualizzazione di esercizi standard e adattarsi ai progressi del paziente durante la formazione (in attesa di brevetto).

In conclusione , lo studio ha portato feedback negativi e positivi sulla riabilitazione robotica :

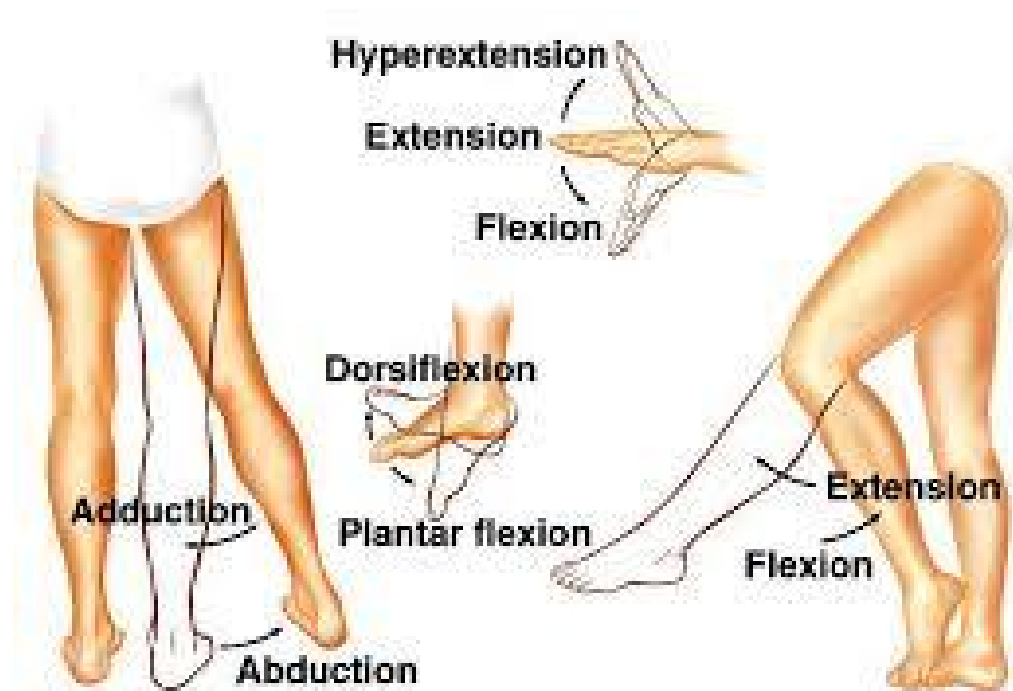
- creazione di una base flessibile e utile per la riabilitazione con un robot industriale, anche se ancora con alcune limitazioni sul lato di controllo.
- Il sistema potrebbe essere adatto per i reparti di riabilitazione professionali e non ad uso domestico per teleriabilitazione.
- Necessario studio di altre tipologie di robot :
 - Preferibilmente con cicli di feedback più veloci
 - Robot con caratteristiche più simili alle apparecchiature medicali
- Il passaggio successivo è uno studio approfondito sull'uso e l'esperienza dell'utente con il sistema sviluppato nonché i conseguenti adeguamenti del software di controllo e dell'interfaccia

Solo dopo aver apportato le giuste modifiche , lo studio potrà spostarsi sull'esperienza personale su pazienti reali.

Capitolo 5. L'arto inferiore

Cenni generali di anatomia dell'arto inferiore, analizzando i componenti principali, le loro fratture e di conseguenza la riabilitazione prevista, sia tradizionale che robotica.

5.1 Arto inferiore : componenti e movimenti



Movimenti ammessi arto inferiore - " Anatomia funzionale" - eLite.it

Gli elementi che costituiscono l'arto inferiore che inizia con l'articolazione coxo-femorale, sono coscia, gamba e piede : il modello cinematico semplificato prevede 7 gdl.

I movimenti principali dell'arto inferiore sono : flessione ed estensione della coscia, abduzione/adduzione e rotazione interna/esterna, estensione, eversione e inversione.

L'articolazione coxo-femorale è modellizzabile come una cerniera sferica perfetta e i relativi movimenti sono tre rotazioni rispetto tre assi ortogonali e incidenti nel centro; in corrispondenza del ginocchio un unico grado di libertà di flessione/estensione cioè rototraslazione attorno e lungo un asse mobile; infine la caviglia con tre movimenti . Possiamo quindi modellizzare tutti e 7 i gdl con un giunto sferico.

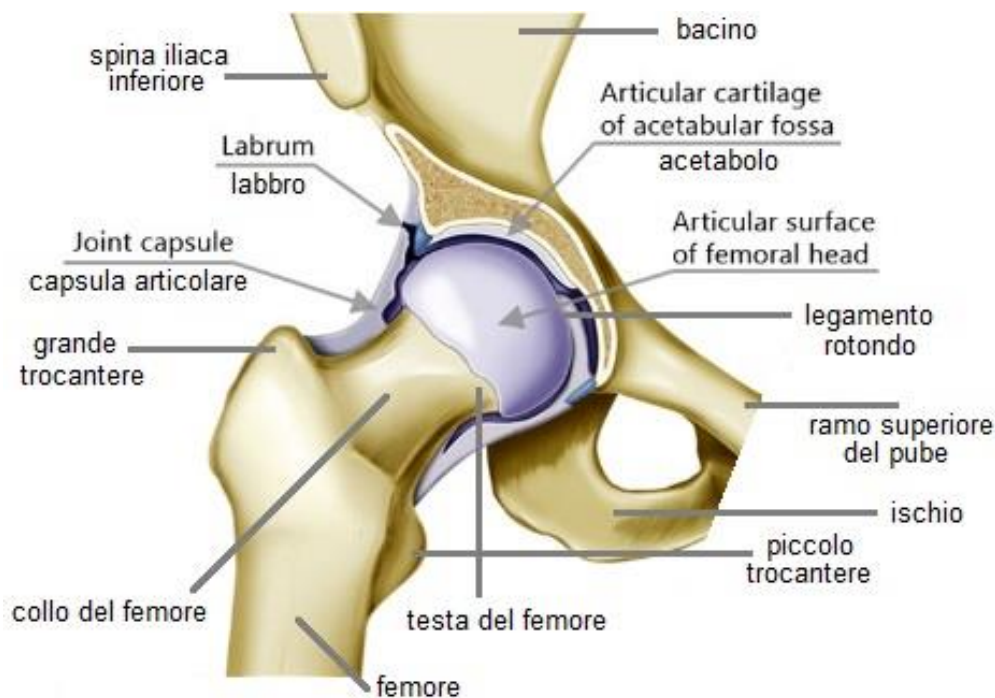
Alla stessa maniera in cui è stato descritto l'arto superiore, per l'arto inferiore si possono individuare diverse ossa costituenti :

- Bacino o cintura pelvica : costituito da due ossa ancorate posteriormente alla parte sacrale della colonna vertebrale. Sulle parti laterali del bacino, sono presenti due fosse semisferiche (gli acetaboli) che accolgono la testa del femore, permettendone i tre gradi di libertà ;
- Femore : osso lungo caratterizzato nel suo estremo prossimale dalla testa del femore che si articola nell'acetabolo ;
- Rotula o patella : osso breve dalla forma regolare, inglobato dal legamento che collega il tendine del quadricipite con la tibia, per permettere la flessione-estensione del ginocchio ;
- Tibia : osso lungo che costituisce lo scheletro della gamba insieme al perone ;
- Perone : osso lungo sottile ;

- Tarso, metatarso e falangi : ossa costituenti del piede, equivalentemente alla struttura della mano nell'arto superiore.

5.1.1 L'anca : frattura e tecniche di riabilitazione tradizionale

L'articolazione dell'anca vede l'interazione del bacino e del femore attraverso la testa di quest'ultimo. Le due superfici non sono in contatto diretto in quanto sono entrambe rivestite da cartilagine. I movimenti attivi sono quelli prodotti dai muscoli dell'articolazione, quelli



Articolazione dell'anca - www.osteopataroma.it

passivi sono imposti da forze esterne che possono stirare i muscoli.

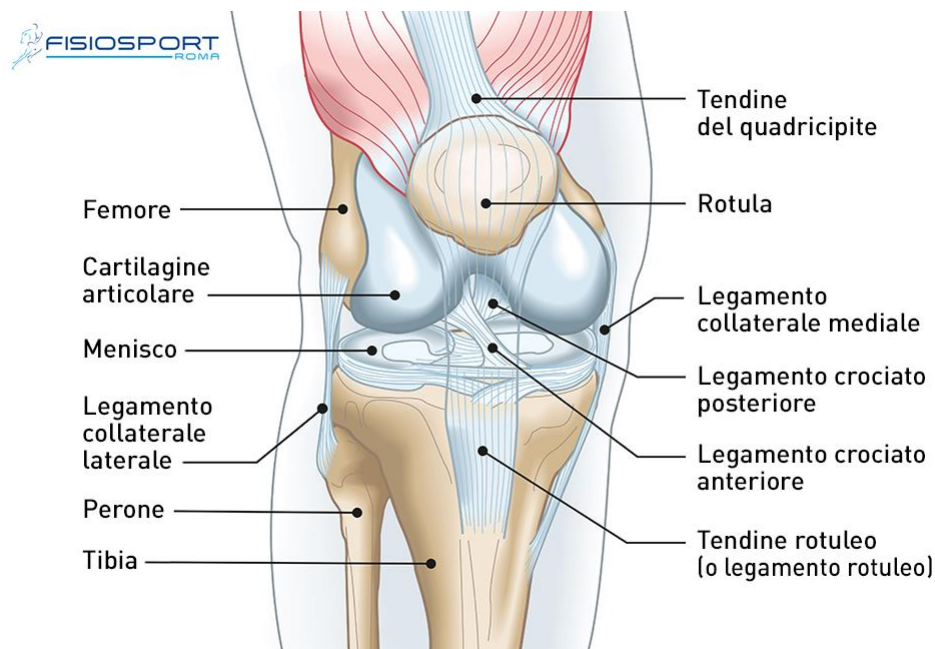
Si possono avere diversi tipi di frattura dell'anca :

- frattura intracapsulare (o frattura mediale): che si verifica nella capsula articolare;
- frattura petrocanterica che avviene al di fuori della capsula articolare;
- frattura sottotrocanterica che avviene 2-3 cm sotto il piccolo trocantere.

La frattura dell'anca rappresenta una delle cause di ricovero più frequente, soprattutto negli anziani circa il 90%. Le cause principali di questa frattura sono rappresentate da cadute accidentali o osteoporosi. Nei pazienti giovani la frattura del femore si può verificare in caso di traumi sportivi o incidenti stradali. Il trattamento di questo tipo di frattura è sempre chirurgico: a seconda del tipo di frattura si utilizzano mezzi di sintesi (placche, viti, chiodi) o impianti di protesi. Nei soggetti anziani è preferibile utilizzare protesi artificiali che permettono un più rapido recupero funzionale.

È necessario un periodo di riabilitazione, durante il quale il paziente recupera il movimento articolare e la forza muscolare : la riabilitazione prevede principalmente esercizi mirati al movimento di rotazione e traslazione dell'arto inferiore.

5.1.2 Il ginocchio : frattura e tecniche riabilitative tradizionali



Articolazione del ginocchio - “ Patologie del ginocchio” - fisioroma.it

Il ginocchio è un'articolazione molto complessa il cui movimento dipende dalla forma delle diverse ossa e presenza di legamenti e tendini. Il movimento è di rotazione relativa tra femore e tibia, che avviene a contatto con i menischi che si interpongono tra loro. I legamenti fanno da collegamento tra tibia e femore, perciò ogni rotazione determina una traslazione nel piano sagittale.

Vista la sua complessità, possiamo trovarci davanti a diversi tipi di lesioni, tra cui le più frequenti sono: rottura del legamento crociato, lesioni dei legamenti laterali, lesioni meniscali, danni della cartilagine, lussazione di rotula, la maggior parte dei quali si tratta con operazione chirurgica o in artroscopia.

La riabilitazione prevede principalmente esercizi di tonificazione della massa muscolare, insieme a flessione-estensione e piegamenti

partendo da angoli di max 100° andando poi a diminuire per ottenere il piegamento totale.

5.2. ROBERT by Kuka

Life Science Robotics ha sviluppato un dispositivo medico per la terapia robotica e la movimentazione dei pazienti. Qui entra in gioco il LBR Med di KUKA, che grazie alla pre-certificazione medica è ideale per l'integrazione nel dispositivo medico. Dopo un intervento chirurgico o un ictus, spesso dal punto di vista medico è opportuno muovere intensamente e per un lungo periodo di tempo l'articolazione e i muscoli del paziente, per una migliore guarigione. Diversamente, possono verificarsi complicazioni, come le successive limitazioni del movimento. Per evitare questo, Life Science Robotics (LSR) di Aalborg, Danimarca ha sviluppato il robot di riabilitazione ROBERT®. "Con la nostra soluzione, vogliamo aiutare i pazienti a muoversi in modo più rapido ed efficiente, alleggerendo al contempo i compiti del personale infermieristico", afferma Keld Thorsen, CEO di Life Science Robotics. Dopo un intervento chirurgico, il paziente è sdraiato nel suo letto. L'infermiere può spingere nella stanza un dispositivo

con un braccio a più angoli: è ROBERT®, il robot di riabilitazione.



ROBERT® by KUKA - "KUKA- Robots & Automation" 7 Nov 2017

L'infermiere collega il braccio robot, ad esempio, con la gamba del paziente. Basta premere il pulsante di avvio e ROBERT® solleva leggermente la gamba. Ora l'infermiere può eseguire manualmente i movimenti legati alla terapia. ROBERT® memorizza il movimento e poi lo esegue esattamente secondo le indicazioni, in modo automatico e ripetibile in base alle necessità. In caso di movimenti bruschi o per effetto di altre forze impreviste, l'apparecchio si ferma immediatamente per motivi di sicurezza. ROBERT® lavora in modo molto preciso, personalizzato e flessibile. È in grado di eseguire esattamente gli stessi movimenti più e più volte - senza interruzioni, affaticamento o limitazioni temporali. Il motto "Intensity Matters" è tipico della riabilitazione ed è attuabile in maniera economicamente conveniente solo con l'assistenza robotica di ROBERT®. La soluzione alleggerisce i

compiti degli infermieri, che durante la movimentazione possono svolgere attività vicine al paziente, monitorando il trattamento, oppure occuparsi di altri pazienti. All'accensione del cobot, sarà poi disponibile su display, il menù di scelta del movimento da eseguire, ed al termine della terapia, un report dei movimenti eseguiti, divisi in attivi e passivi a seconda della modalità di esercizio scelta a priori.

5.3 LBR Med

Il robot sensibile LBR Med è appositamente pensato per le esigenze della medicina: grazie alla sua capacità di collaborazione tra uomo e macchina, è particolarmente adatto per svariati sistemi di assistenza nel campo della robotica medica.



LBR Med - https://hobbydocbox.com/Magic_and_Illusion/67126761-Medical-robotics-lbr-med.html

Dalla diagnostica, al trattamento fino ad interventi chirurgici: LBR Med è il perfetto assistente per diversi compiti nell'ambito

sanitario. Il sensibile robot leggero a sette assi può essere integrato in modo facile e flessibile nei prodotti medicali per diverse attività mediche. I sensori sensibili, le ampie precauzioni di sicurezza, le superfici per un'igiene ottimizzata e un controllo progettato per la collaborazione diretta con l'uomo fanno sì che il robot sia ideale per l'impiego nell'ingegneria medica. Grazie alla sua flangia per mezzi di esercizio versatile Inside electrical Med, LBR può essere integrato in modo facile e flessibile in diversi prodotti medicali.

Proprietà di LBR Med :

- Precisione

LBR Med non necessita di ulteriori dispositivi per la calibratura e per lavori di alta precisione. I sensori di regolazione integrati consentono una calibrazione totalmente autonoma. LBR Med raggiunge un'elevatissima precisione di ripetibilità, compresa tra $\pm 0,1$ mm e $\pm 0,15$ mm a seconda della versione.

- Flessibilità

Concepito come componente universalmente sostituibile, LBR Med può essere integrato nelle soluzioni più disparate senza soluzione di continuità. Grazie alla sua varietà di interfacce preconfigurate, LBR Med si prefigura come sistema robot versatile per diversi impieghi nell'ingegneria medica.

- Sicurezza

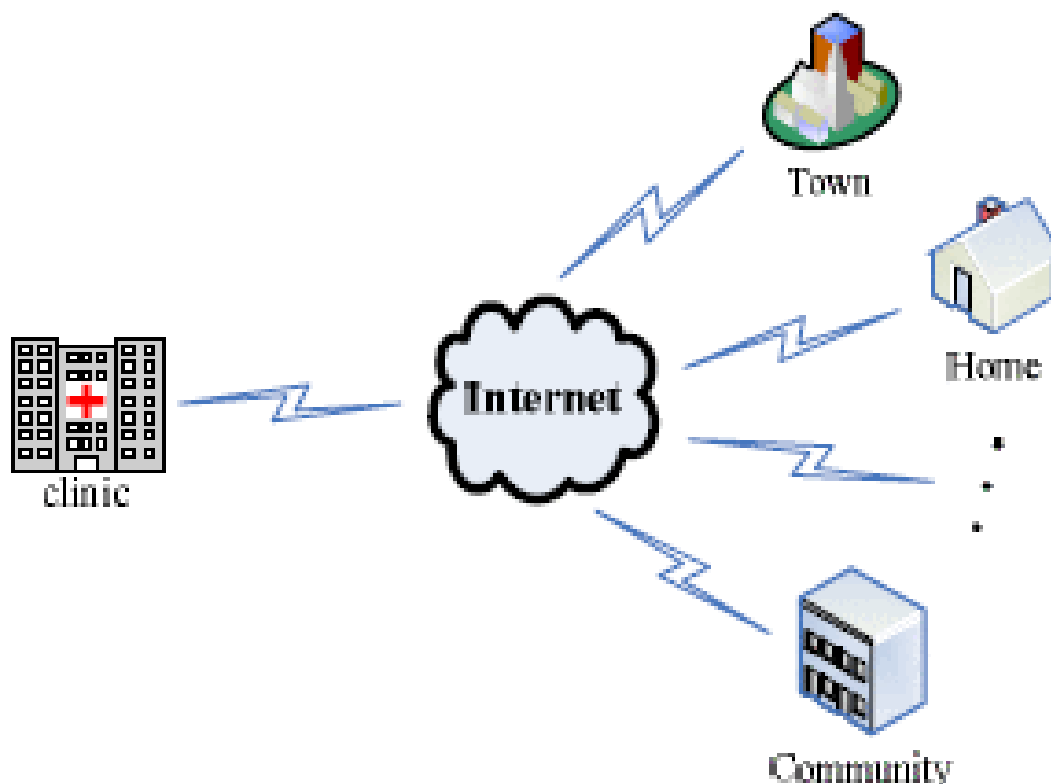
LBR Med possiede un'ampia struttura di sicurezza. Attraverso hardware e software, i segnali rilevanti vengono valutati in funzione della sicurezza. L'equipaggiamento di sicurezza

comprende tra l'altro sensori per il momento di forza, condizione di primo guasto, interfacce per la sicurezza ed eventi di sicurezza configurabili.

- Sensibilità

LBR Med si basa sul robot KUKA LBR iiwa sensibile collaudato nell'ambito industriale ed è anch'esso dotato di sensori di coppia ridondanti e integrati. Questi gli conferiscono spiccate capacità tattili, la capacità di rilevare effetti esterni e un riconoscimento di collisioni sicuro che rende LBR Med compatibile con la collaborazione uomo-robot.

6.1 Teleriabilitazione robotica assistita



Teleriabilitazione robotica assistita - " Tele-rehabilitation system" - IEEE Xplorer

Con il numero crescente di persone a rischio nella popolazione, c'è una maggiore necessità di sistemi di riabilitazione che possono essere efficacemente somministrati sia in ambito clinico che in ambienti di terapia domiciliare. Il concetto di sistema di tele-riabilitazione si basa sugli elementi motivazionali inerenti la riabilitazione di più pazienti da parte di un terapeuta contemporaneamente tramite Internet, sistema in grado di ottimizzare tempi e costi.

Il sistema è costituito da un server centrale e uno o più client che possono essere localizzati in svariati punti, come mostrato in figura. Il server e i client sono connessi tramite Internet. La stazione di riabilitazione del client riceve i comandi dal server, rileva la forza e le informazioni sulla posizione, nonché le immagini video e invia al server durante l'esercizio. Il PC sul sito del server serve per controllare / monitorare i clienti, analizzare i dati e valutare lo stato dei pazienti, inoltre per regolare i parametri di allenamento o per ottimizzare lo schema terapeutico. La funzione principale dei dispositivi robotici di riabilitazione è quella di assistere e guidare i pazienti nell'esercizio attraverso una serie di movimenti ripetitivi in diverse modalità, acquisire informazioni su forza e posizione e inviare dati al server tramite Internet. Durante l'utilizzo in un ambiente di terapia domiciliare, il braccio è azionato da un motore a corrente continua sotto il centro del braccio: i comandi vengono inviati ogni volta che i terapeuti ritengono necessario modificare i parametri di allenamento. I comandi in tele-riabilitazione si riferiscono alla velocità, all'ampiezza del movimento, alla modalità di allenamento e alle forze massime esercitate sul paziente.

6.2 MOTORE++ : riabilitazione domestica

I sistemi robot sono ampiamente accettati come strumenti di riabilitazione in numerose patologie che possono colpire la

disabilità motoria degli arti superiori.



Sistema robotico MOTORE ++

https://www.eruffaldi.com/papers/2016_C_SaracinoIECON.pdf

L'uso di questi dispositivi, in combinazione con esercizi al computer o ambiente virtuale, ha dimostrato capacità riabilitative più elevate rispetto alla riabilitazione tradizionale.

Nel 2011 Humanware MOTORE è stato concepito per fornire esercizi di riabilitazione come dispositivo da tavolo. Quando viene posizionato sul pannello del desktop, il dispositivo utilizza le sue ruote e l'attrito con la superficie per trasferire le forze di controllo alla mano a seconda del movimento del braccio dell'utente. Con un peso di circa 10 kg, MOTORE era in grado di fornire forze fino a 25 N in tutte le direzioni planari. Grazie ad una fotocamera digitale incorporata, il sistema calcola la posizione assoluta del dispositivo nel tavolo.

MOTORE++ , rappresenta l'evoluzione del precedente modello, con migliorie sostanzialmente elettroniche. La sua nuova architettura elettronica consente diversi protocolli di comunicazione che forniscono stabilità del collegamento in tutti gli scenari di esecuzione. Il dispositivo implementa anche un'architettura informatica all'avanguardia e un nuovo sensore di posizione sviluppato congiuntamente con Anoto® per fornire una fusione precisa del sensore e stabilità agli algoritmi di localizzazione e generazione della forza.

CONCLUSIONI

Lo studio, fornisce una panoramica completa in grado di poter trarre conclusioni, positive e negative, riguardo l'argomento trattato.

Nel XXI secolo, la tecnologia e la nanotecnologia hanno compiuto passi da gigante : basti pensare ai primi telefoni cellulari a nostra disposizione nei primi anni 2000 e compararli con i dispositivi smartphone esposti oggi nelle vetrine dei negozi. Di pari passo alla piccola tecnologia, si è andata sviluppando la grande tecnologia, la robotica industriale e la robotica collaborativa, abbracciando diversi settori e campi di applicazione. Sicuramente, abituarsi non sarà semplice :

Si potrebbero stilare una serie di punti a mio parere, sfavorevoli a questo progresso : il distacco umano, il non poter avere un confronto diretto, un dialogo diretto e di senso compiuto, la sostituzione di gran parte della manovalanza con perdita di lavoro conseguente.

D'altro lato, troverei dei semplici rimedi a questo, con maggiore informazione alla popolazione riguardo queste novità, con agevolazioni su corsi di formazione e manutenzione dei robot stessi , per creare un nuovo settore di lavoro, per compensare la perdita di manovalanza in campo industriale, ed avvicinare la mentalità umana a quella elettronica.

In campo sanitario, la robotica collaborativa rappresenta una grande innovazione : la riabilitazione robotica e con tecnologie

avanzate è utile a persone con difficoltà e deficit nei movimenti delle braccia e delle mani, problemi del cammino e disturbi dell'equilibrio. È indirizzata in particolare a pazienti con patologie neurologiche (esiti da ictus, sclerosi multipla, morbo di Parkinson, malattie del midollo spinale, polineuropatie...), ma anche a pazienti con patologie ortopediche che compromettono il cammino. A mio avviso, ad esempio per il ROBERT® sopracitato, creerei un'interfaccia diretta con il paziente, in istanti intermedi durante il lavoro : un feedback su display in risposta ad una domanda vocale del tipo " come procede?" "miglioramenti o peggioramenti rispetto alle 10 ripetizioni precedenti?" , al fine di instaurare rapporto di fiducia e stimolazione, per poter avvicinare quanto più possibile, l'uomo a questa grande novità, rendendo il paziente partecipe tanto quanto il terapeuta.

Guardando i dati demografici, questi affermano che tra 20 anni ci saranno molte più persone oltre i 60 anni di quante ce ne siano oggi. Ciò significa, da un lato, l'aumento della spesa sanitaria, dall'altro la riduzione del numero di infermieri". ROBERT® , assieme a tutti i robot collaborativi in circolazione ad oggi, colma questa lacuna.

Ultimo aspetto ma non meno importante, è la teleriabilitazione robotica assistita : può essere notevolmente migliorata con l'aggiunta di un qualche tipo di assistenza forzata fornendo al terapeuta un feedback in tempo reale dalle stazioni del cliente tramite Internet. Il force feedback indica lo stato del paziente e sarà utile al terapeuta per adottare un appropriato schema di esercizi.

Considerando lo stato attuale della popolazione mondiale, con l'emergenza sanitaria da COVID-19 , la teleriabilitazione assistita e la riabilitazione robotica collaborativa , sono un'ottima soluzione al distanziamento sociale necessario ed al soddisfacimento delle normative igieniche. Inoltre, bisogna pensare al post ricovero dei pazienti in terapia intensiva : la ripresa è lunga e complessa, di conseguenza avere teleriabilitazione assistita o piccoli robot domestici, può essere di grande aiuto.

Concludo con una citazione che spero faccia riflettere , ricordando sempre che l'unione fa la forza, sperando vivamente un giorno, di poter migliorare la vita delle persone.

“Ciò che per un robot è casuale può non esserlo per un essere umano.”

ALAN TUDYK

RIFERIMENTI

- [1] www.ai4business.com “Cobot, la robotica collaborativa cos’è, storia e tendenze recenti.” Sophie Hand, 25 Novembre 2019
- [2] www.internet4things.com “Robotica industriale cos’è, come funziona e ambiti applicativi”. Eugenio Tommasi, 19 Giugno 2019
- [3] MIUR - Robotica in classe
- [4] Springer “L’hardware del robot in robotica mobile” . Nehmzow U. , 2008
- [5] IEEE Xplore “Collaborative robots and Industrial revolution 4.0 (IR 4.0)”. F.Scherwani, Muhammad Mytaba Asad, 30 Aprile 2020 Karaki, Pakistan.
- [6] IEEE Xplore “Collaborative space solution and simulation of 7DOF dual-arm rehabilitation robot”. Xuesheng Xiong, Qing Sun , 20-22 Dec 2019, China
- [7] CERGAS BOCCONI- Centro di Ricerche sulla Gestione dell’assistenza sanitaria e sociale . “Osservatorio sulle aziende e sul sistema sanitario italiano.
- [8] IEEE Xplore “International conference on Rehabilitation Robotics” , 2009 Kyoto, Giappone
- [9] Fondamenti di Meccanica Teorica ed Applicata , cap.2.19 “L’arto superiore” . Giacomo Palmieri, Giovanni Legnani, 2016 Città studi

- [10] Fondamenti di Meccanica Teorica ed Applicata , cap.2.20
“L’arto inferiore” . Giacomo Palmieri, Giovanni Legnani, 2016
Città studi
- [11] IEEE Xplore “ Transaction on medical robotics and biomics “
vol.2 , 28 October 2020.
- [12] IEEE Xplore “ A multi-funcional lower and upper-limb stroke
rehabilitation robot”
- [13] Tesi di Dottorato “ Controllo di robot per la riabilitazione
dell’arto superiore di pazienti post-stroke. Ing.Riccardo Secoli ,
2010
- [14] IEEE Xplore “Feaibility of the UR5 industrial robot for robotic
rehabilitation of the upper limbs after stroke” , 1-5 Oct 2018,
Madrid Spain
- [15] Sport e Medicina “ Riabilitazione post chirurgia della spalla” .
Stelvio Berardo, Ennio Barigelli , 31 Dicembre 2003
- [16] ELBOW “ Riabilitazione nella patologia ortopedica del gomito
“ , 2010 Roma
- [17] www.riabilitazionereumatologica.org “ Le metodiche di
riabilitazione della mano e del polso nel malato di artrite
reumatoide”
- [18] Ebook KUKA “ Collaborative and sensitive robots set to shape
the future of medicine
- [19] IEEE Xplore “ Development of a force-assistant tele-
rehabilitation system for the stroke” , 4-7 June 2007 , Spain

[20] IEEE Xplore “ MOTORE++ a portable haptic device for domestic rehabilitation” , 23-26 October 2016, Florence Italy.

[21] patient@home “Universal Robotrainer- Rehabilitative training, WP1.1 - Jacob Nielsen, 2018

