

trasmissioni di potenza

oleodinamica-pneumatica

rivista delle applicazioni fluidodinamiche e controllo dei sistemi

5 maggio 2011

 tecniche nuove

Focus

Modellazione di una pompa duocentrica e riduzione delle emissioni sonore

Mecspe

Dieci anni di innovazione tecnologica

La parola all'azienda

Tubi flessibili in teflon per numerose applicazioni

Mercato

Interessanti opportunità dalla nautica estera



Bosch Rexroth:
il valore di una scelta.

La scelta di vincere insieme!

Creiamo soluzioni vincenti, insieme a voi.

Bosch Rexroth. **The Drive & Control Company**
www.boschrexroth.it

Rexroth
Bosch Group



In copertina

BOSCH REXROTH SPA
 S.S. Padana Superiore 11, n. 41
 20063 Cernusco s/N (MI)
 Tel. 02 92365.1
 Fax 02 92365.500
 E.mail: info@boschrexroth.it
 www.boschrexroth.it

RIVISTE DIGITALI Potete sfogliare questa rivista online all'indirizzo www.rivistedigitali.com/op

Anno 52 - Numero 5 - maggio 2011
Direzione, Redazione, Abbonamenti/
Head office, editorial office, subscriptions:
Amministrazione e Pubblicità/
Administration and advertising:
 Casa Editrice/Publishing firm
tecniche nuove spa
 Via Eritrea, 21 - 20157 Milano - Italy
 Telefono 0239090-1 - 023320391
 www.tecnicenuove.com
 info@tecnicenuove.com
Direttore responsabile/Publisher: Giuseppe Nardella
Direzione editoriale/Editorial direction: Enzo Guaglione,
 Alessandro Gamero
Comitato Scientifico/Scientific Committee:
 Guido Belforte, Andrea Manuello Bertetto, Antonino Bonanno, Massimo Borghi, Giuseppe Cantore, Giancarlo Cusimano, Nunzio D'Addea, Carlo Maria Rozzi De Hieronymis, Carlo Ferraresi, Mario Massimo Foglia, Massimo Milani, Roberto Paoluzzi, Terenziano Raparelli, Enrico Ravina, Massimiliano Ruggeri, Massimo Sorli, Luca Zarotti, Pierluigi Beomonte Zobel.
Consulente editoriale Oleodinamica/
Hydraulic Editorial Consultant: Roberto Paoluzzi
Consulente editoriale Pneumatica/
Pneumatics Editorial Consultant: Guido Belforte
Redazione/Editorial staff:
 Andrea Malambri - tel. 0239090378 fax 0239090331,
 andrea.malambri@tecnicenuove.com
Direttore commerciale/Sales manager:
 Cesare Gnocchi, cesare.gnocchi@tecnicenuove.com
Coordinamento stampa e pubblicità/
Printing and advertising coordination:
 Fabrizio Lubner (responsabile), Loredana Capelli
Grafica, disegni e impaginazione/
Graphics, drawings and layout:
 Grafica Quadrifoglio S.r.l. - Milano
Abbonamenti/Subscriptions:
 Luisa Branchi (responsabile)
 luisa.branchi@tecnicenuove.com
 Alessandra Caltagirone -
 alessandra.caltagirone@tecnicenuove.com
 Domenica Sanrocco -
 domenica.sanrocco@tecnicenuove.com
 Tel. 0239090440 - Fax 0239090335
 abbonamenti@tecnicenuove.com

OLEODINAMICA

POMPE E MOTORI OLEODINAMICI

RICERCA

18 Modellazione di una pompa duocentric e riduzione delle emissioni sonore

Francesco Pintore, Marco Lorenzelli, Barbara Zardin, Emiliano Specchia



26 Simulazione integrata per macchine a pistoni assiali

Barbara Zardin, Emiliano Specchia, Francesco Pintore



PNEUMATICA

LA FILTRAZIONE DEI FLUIDI

RICERCA

40 La filtrazione negli impianti a fluido è fondamentale!

Andrea Manuello Bertetto



50 Sperimentazione di filtri a coalescenza

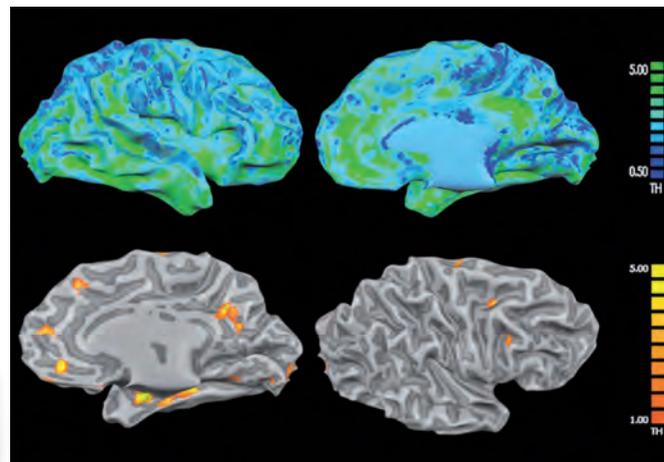
Guido Belforte, Andrea Trivella

LA PNEUMATICA NEL MEDICALE

RICERCA

56 P.I.G.R.O. e Bra.Di.P.O. due ortesi innovative

Guido Belforte, Gabriella Eula





**NALDONI
E BIONDI**

COMPONENTI STANDARD INOX E SPECIALI PER CILINDRI OLEODINAMICI



PREMIO ITALIA 2010 PER QUALITÀ IN OLEODINAMICA



Naldoni e Biondi S.r.l.
Via Bedazzo, 18 - 48022 Lugo Ra - Tel. 0545 33483 - Fax 0545 32394
www.naldoniebiondi.it

Hanno collaborato a questo fascicolo/

Contributors to this edition:

Sylvia Aprile, Attilio Benvenuto, Marianna Capasso, Francesco Durante, Gabriella Eula, Marco Ferrara, Natasa Koceska, Saso Koceski, Marco Lorenzelli, Anselmo Nesti, Francesco Pintore, Moreno Soppelsa, Emiliano Specchia, Andrea Trivella, Barbara Zardin, Pierluigi Beomonte Zobel

Abbonamenti/Subscriptions:

Italia annuo € 60,00; Italia biennale € 110,00; Europa annuo € 120,00; Extra-Europa annuo € 140,00.

Per abbonarsi a Oleodinamica Pneumatica è sufficiente versare l'importo sul conto corrente postale n. 394270 oppure a mezzo vaglia o assegno bancario intestati a Tecniche Nuove Spa - Via Eritrea 21 - 20157 Milano. Gli abbonamenti decorrono dal mese successivo al ricevimento del pagamento.

Costo copia singola € 2,70

(presso l'editore, fiere e manifestazioni).

Copia arretrata (se disponibile)

€ 5,50 + spese di spedizione

Ufficio commerciale-vendita spazi pubblicitari/

Commercial department - sale of advertising spaces:

Milano - Via Eritrea, 21

Tel. 0239090283-0239090272 - Fax 023551535

Uffici regionali/Regional offices:

Bologna - Via di Corticella, 181/3

Tel. 051325511 - Fax 051324647

Vicenza - Contrà S. Caterina, 29

Tel. 0444540233 - Fax 0444540270

e-mail: commerciale@tecnichenuove.com

Stampa/Printing: Grafiche SIMA - Ciserano (BG)

Responsabilità/Responsibility: La riproduzione di illustrazioni e articoli pubblicati dalla rivista, nonché la loro traduzione, è riservata e non può avvenire senza espressa autorizzazione della Casa Editrice. I manoscritti e le illustrazioni inviati alla Casa Editrice non saranno restituiti, anche se non pubblicati e la Casa Editrice non si assume responsabilità nel caso che si tratti di esemplari unici. La casa editrice non si assume alcuna responsabilità nel caso di eventuali errori contenuti negli articoli pubblicati o di errori in cui fosse incorsa nella loro riproduzione sulla rivista.

Associazioni/Associations:

A.N.E.S.

ASSOCIAZIONE NAZIONALE EDITORIALE PERIODICA SPECIALIZZATA



ADERENTE A CONFINDUSTRIA

Periodicità/Frequency of publication: Mensile - Poste Italiane Spa - Spedizione in abbonamento Postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n. 46) art. 1, comma 1, DCB Milano

Registrazione/Registration: n. 5179 del 29/1/1960 Tribunale di Milano - Iscritta al ROC Registro degli Operatori di Comunicazione al n° 6419 (delibera 236/01/Cons del 30.6.01 dell'Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni)

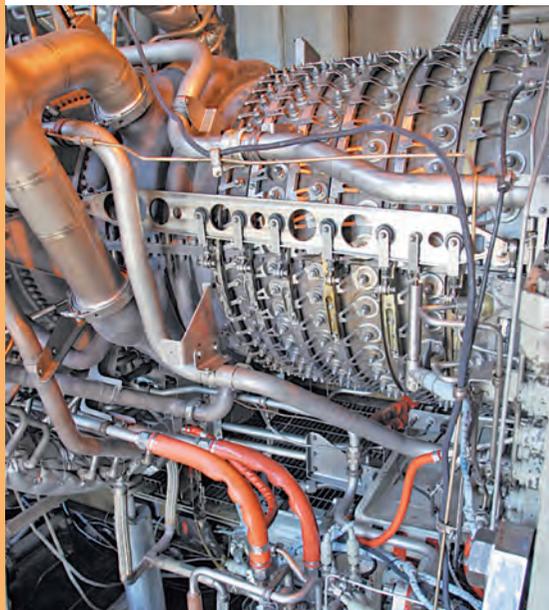
In collaborazione con/In cooperation with: Fluid Power, Watford, Gran Bretagna. Fluidos - Hidráulica Neumatica, Barcellona, Spagna.

Tecniche Nuove pubblica le seguenti riviste/Tecniche Nuove publishes the following magazines: Apparecchi Elettrodomestici, AE Parts & Components, Arredo e Design, Automazione Integrata, Backstage, Bagno Design, Beauty Line, Bicitech, Commercio Idrotermosanitario, Computer Music Studio, Cosmesi in farmacia, Cucina Naturale, Dermakos, Energia Solare e rinnovabili, Elettro, Farmacia News, Fluid Trasmissioni di Potenza, Fonderia, GEC

Il Giornale del Cartolaio, Global Heating and Cooling, Global Metalworking, Griffe, Griffe Collection, GT Il Giornale del Termoidraulico, Hotel Domani, Il Commercio Edile, Il Dentista Moderno, Il Latte, Il Nuovo Cantiere, Il Pediatra, Il Progettista Industriale, Imbottigliamento, Impianti Solari, Imprese Agricole, Imprese Edili, Industria della Carta, Italia Grafica, Kosmetica, L'Erborista, Laboratorio 2000, Lamiere, L'Impianto Elettrico & Domotico, Logistica, Luce e Design, Luce e Design China, Macchine Agricole, Macchine Alimentari, Macchine Edili, Macchine Utensili, Maitre Sommelier, Medicina Naturale, Nautech, NCF Notiziario Chimico Farmaceutico, Noleggio, Oleodinamica Pneumatica Lubrificazione, Organi di Trasmissione, Ortopedici e Sanitari, Plastix, Porte & Finestre, Progettare, Progetto Colore, RCI, Serramenti + Design, Stampi Progettazione e Costruzione, Strumenti Musicali, Subfornitura News, Tecnica Calzaturiera, Tecnica Ospedaliera, Technofashion, Tecnologia del Filo, Tema Farmacia, Trattamenti e Finiture, Utensili & Attrezzature, VQ - Vite, Vino & Qualità, Watt Elettroforniture, ZeroSottoZero

LA PAROLA ALL'AZIENDA

36 Tubi flessibili in teflon per numerose applicazioni
Alexandra Benz



64 Un prototipo di Gait Trainer
Natasa Koceska, Saso Koceski, Pierluigi Beomonte Zobel, Francesco Durante, Terenziano Raparelli

MERCATO

70 MECSPE, dieci anni di innovazione tecnologica
Attilio Benvenuto



74 Imprese nella rete
Moreno Soppelsa

76 Oleodinamica e pneumatica per la nautica
Marianna Capasso



RUBRICHE

- 7 Editoriale - Guido Belforte
- 10 Voi Cosa Ne Pensate?
- 12 Notizie Assofluid - a cura di Marco Ferrara
- 14 Mercato - Simonetta Stella
- 82 Panorama prodotti - a cura di Attilio Benvenuto
- 91 Agenda - a cura di Anselmo Nesti
- 92 News dalle aziende
- 95 Servizio informazioni per i lettori
- 96 Con i piedi per terra - Nunzio D'Addea

Un prototipo di Gait Trainer

✉ **Natasa Koceska¹,
Saso Koceski¹,
Pierluigi Beomonte Zobel²,
Francesco Durante²,
Terenziano Raparelli³**

¹Facoltà di Computer Science, Università «Goce Delce» – Stip, Macedonia
Montelucio di Roio, L'Aquila

²DIMEG – Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica e Gestionale, Università dell'Aquila, L'Aquila

³DIMEC – Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Torino

L'articolo illustra la progettazione e la realizzazione prototipale di un Gait Trainer, un robot per la riabilitazione alla deambulazione, con 10 gradi di libertà, di cui 4 azionati mediante servoassi pneumatici. Vengono mostrati e commentati anche i risultati della prima validazione sperimentale del prototipo in laboratorio.

Le disabilità motorie sono impedimenti importanti dell'individuo, siano esse temporanee o permanenti, e sono causa di limitazioni alle attività del vivere quotidiano. Le disabilità motorie sono causate da lesioni vertebrali, da malattie cerebrovascolari, da malattie neurologiche, ecc. Il numero di persone che ci soffre è in crescita in tutto il mondo, a causa dell'aumento della popolazione e dell'invecchiamento. Se si fa riferimento alle sole persone con lesione midollare, il Ministero della Salute stima il loro numero intorno alle 70.000, con un trend in aumento di circa 2.500 nuovi casi ogni anno. In Italia le cause più frequenti sono gli incidenti stradali e gli infortuni sul lavoro.

Il recupero della deambulazione autonoma

Il training locomotorio rappresenta una terapia molto efficace per il recupero della deambulazione autonoma. Questa terapia migliora il recupero motorio, e può ripristinare la funzione motoria in pazienti con traumi neurologici, come lesioni spinali e ictus. L'esercizio fisico ripetitivo migliora le connessioni neurali interessate nel task motorio attraverso questo apprendimento forzato, e perciò abilita il paziente a una più veloce e a una migliore ripresa della deambulazione. In pazienti affetti da ictus il recupero della deambulazione autonoma è basato proprio su training motori con intensità aumentata e compito specifici. L'applicazione di questa terapia viene svolta efficacemente con l'uso di un tapis roulant e di un dispositivo per la riduzione del peso corporeo che grava sulle gambe del paziente (BWS). Il paziente viene sostenuto dal BWS e due terapisti gli movimentano le gambe sul tapis roulant, oltre a mantenere il controllo della postura eretta. Lo scarico parziale del peso corporeo, dovuto al BWS, riduce la potenza richiesta ai muscoli, e ciò abilita il paziente a lavorare migliorando la coordinazione del movimento mentre gradualmente riacquista il tono e la forza muscolare. Come il paziente progredisce, il BWS permette di aumentare gradualmente il peso sostenuto dalle gambe spingendolo a migliorare il controllo posturale e l'equilibrio. L'impegno gravoso e ripetitivo dei due terapisti limita l'applicazione di questa terapia, e rende difficile ottenere buoni risultati in quan-



to a precisione e ripetibilità del movimento. Inoltre la singola sessione di applicazione della terapia tende ad avere una breve durata e un'efficacia decrescente via via che aumenta la stanchezza degli operatori.

La funzione del Gait Trainer

Queste limitazioni sono state superate con lo sviluppo dei Gait Trainer (GT), cioè di robot per la riabilitazione alla deambulazione, che introducono numerosi vantaggi nella somministrazione di questa terapia [1,2]. L'architettura più diffusa dei GT prevede l'integrazione del tapis roulant e del BWS con una struttura esoscheletrica per il bacino e gli arti inferiori. Il movimento dell'esoscheletro, che viene indossato dal paziente, è comandato e controllato in modo da ottenere il movimento di deambulazione voluto. Il GT simula le fasi del cammino nelle corrette proporzioni di oscillazione e appoggio, e con la corretta movimentazione del centro di massa del paziente. Per raggiungere questo obiettivo l'unità di comando e controllo del GT gestisce in modo coordinato il movimento dell'esoscheletro con quello del tapis roulant. I vantaggi nell'uso del GT sono numerosi: tutte le articolazioni coinvolte nella deambulazione vengono poste in movimento in modo coordinato, la traiettoria imposta risulta più precisa e viene eseguita con elevata ripetibilità, è possibile misurare e registrare le prestazioni del paziente durante il ciclo terapeutico, non c'è necessità dei due terapisti impegnati attivamente nella applicazione della terapia. Il terapeuta responsabile dapprima stabilisce il protocollo terapeutico, poi supervisiona il GT durante lo svolgimento della terapia, e infine ne analizza i risultati ottenuti. La terapia somministrata dal GT a pazienti con ictus si è dimostrata efficace aumentando la probabilità di raggiungere una deambulazione autonoma. In questo lavoro viene presentato il GT in fase di sviluppo presso il DIMEG dell'Università dell'Aquila. Il cuore del GT è formato dall'esoscheletro, che presenta 10 gradi di libertà (gdl), 4 dei quali azionati da servoassi pneumatici e gli altri 6 liberi. La tecnologia pneumatica utilizzata si presta molto bene a questo tipo di applicazioni in quanto consente di individuare delle architetture costruttive semplici, leggere e dal costo contenuto. L'attività finora svolta ha visto la progettazione completa del GT e la sua realizzazione prototipale. Nel lavoro sono presentati anche i primi risultati della sperimentazione effettuata in laboratorio senza paziente per la validazione funzionale del prototipo.

La struttura del Gait Trainer

Il GT è composto da un tapis roulant commerciale, per consentire al paziente di camminare senza lo spostamento del corpo, da un BWS, che permette di regolare

la percentuale di peso corporeo che deve gravare sulle gambe, e da un esoscheletro per arti inferiori, che viene indossato dal paziente e permette di imporre allo stesso delle opportune leggi di movimento. L'esoscheletro ha 10 gdl, tutti rotazionali, 2 all'altezza del bacino, 2 per le articolazioni delle anche, 2 per quelle delle ginocchia e 4 per quelle della caviglia, Fig. 1. La individuazione dei gdl e la loro localizzazione sull'esoscheletro sono avvenute dopo uno studio della anatomia e della biomeccanica del cammino, con l'obiettivo di concepire una struttura che permettesse di realizzare una deambulazione corretta e che tenesse conto anche di aspetti di sicurezza. L'esoscheletro è realizzato in lega di alluminio, per la parte strutturale, e presenta nella parte superiore la prima interfaccia con il paziente, rappresentata da un corsetto in polietilene che si indossa a livello addominale; l'altra interfaccia è posta nella zona degli arti inferiori, e accoglie i piedi del paziente. Gli arti inferiori dell'esoscheletro sono costituiti essenzialmente da 3 componenti: il femore, la tibia e il piede. Il femore è lungo 463 mm, mentre la tibia ha una lunghezza totale di 449 mm. L'architettura degli arti inferiori dell'esoscheletro è stata definita ispirandosi alla conformazione anatomica dell'apparato scheletrico, come per esempio gli angoli caratteristici rispetto alla verticale del femore e della gamba inferiore in stazione eretta nel piano frontale. La struttura è concepita per essere adattata a pazienti di diversa taglia, con delle regolazioni che permettono di assicurare un buon confort a chi la indossa. L'esoscheletro è attuato da 4 cilindri pneumatici, 2 per ciascuno degli arti inferiori: giunto n. 2 dell'anca e giunto n. 3 del ginocchio. I cilindri hanno un diametro di 32 mm e una corsa di 160 mm e 180 mm, rispettivamente per l'azionamento del giunto di anca e del giunto di ginocchio. Ciascuno dei quattro cilindri è alimentato da due valvole proporzionali in pressione, una per la camera anteriore e l'altra per la posteriore, prodotte dalla SMC mod. ITV 1051-312CS3-Q. Gli angoli dei giunti dell'anca e del ginocchio sono misurati mediante trasduttori rotativi resistivi, utilizzati, come variabili di retroazione, nel sistema di controllo del movimento del servoasse. Per motivi di sicurezza, dei fermi meccanici sono stati inseriti per delimitare i fine corsa di ciascun gdl. In figura 2 è mostrata una vista assonometrica del progetto dell'esoscheletro. L'esoscheletro è posto su un tapis roulant ed è collegato, a livello del bacino, a un parallelogramma spaziale che gli consente soltanto movimenti traslatori nel piano orizzontale e verticale. A sua volta il meccanismo è collegato a un telaio di sostegno a forma di C. Sul telaio è anche installato il BWS, per la riduzione del peso corporeo gravante sulle gambe. Il prototipo di Gait Trainer realizzato è in grado di operare su pazienti con peso inferiore a 850 N.

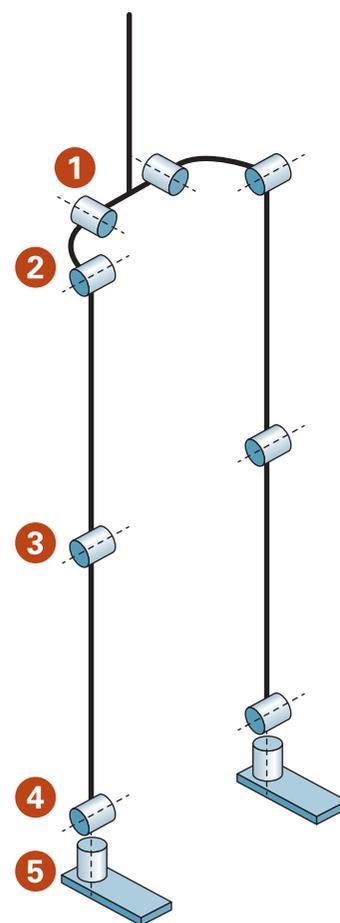


Fig. 1 - Schema cinematico semplificato dell'esoscheletro

Fig. 2 – Vista assonometrica dell'esoscheletro



La cinematica dell'esoscheletro

Lo schema cinematico per il giunto di anca e per quello di ginocchio, entrambi ad 1 gdl, è mostrato in figura 3, che riporta anche le variabili geometriche lineari e angolari utilizzate nelle equazioni di equilibrio e l'indicazione dei due azionamenti lineari, la cui distanza tra gli estremi di ancoraggio è stata indicata con p_1 e p_2 , rispettivamente per il giunto di anca e per quello di ginocchio. Trascurando in prima approssimazione le inerzie, poiché la condizione di funzionamento del GT è tipicamente di moto vario ma con una dinamica lenta, è possibile ricavare le relazioni di equilibrio in condizioni stazionarie che consentono di esplicitare la forza di equilibrio per il giunto di anca F_{Tact} e per quello di ginocchio F_{Sact} , in funzione della forza peso e delle grandezze geometriche:

$$F_{Tact} = \frac{M_t g L_{HGt} \sin \theta_1 + M_s g \bar{L}_{HK} \sin \theta_1 + L_{KGt} \sin (\theta_1 - \theta_2) A}{\alpha \sin \beta_1}$$

con

$$\beta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{b \sin \delta_1}{p_1} \right)$$

e

$$\begin{cases} \delta_1 = \pi - \theta_1 - \gamma_1 - \alpha_1 \\ p_1 = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \delta_1} \end{cases}$$

$$F_{Sact} = \frac{M_s g L_{KGs} \sin (\theta_1 - \theta_2)}{d \sin (\beta_2)}$$

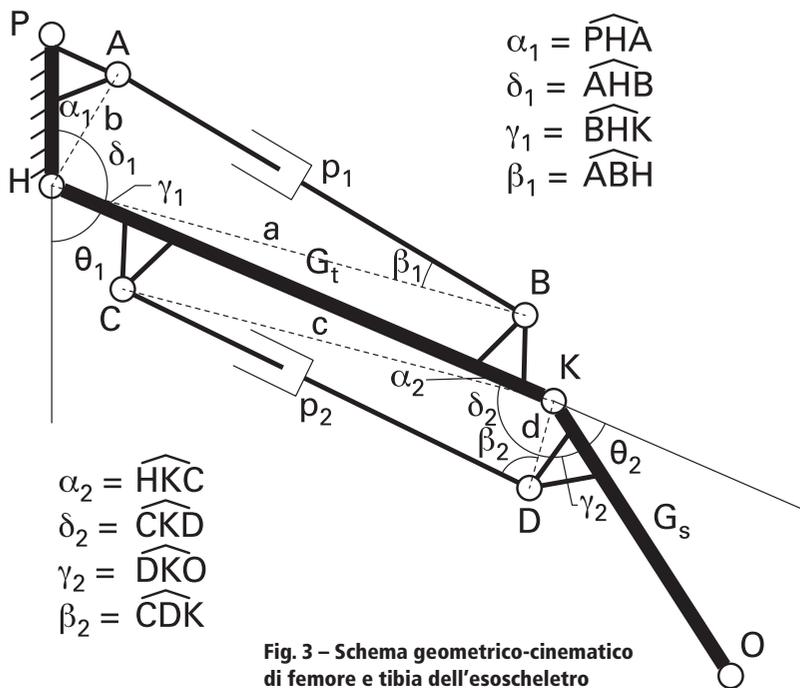


Fig. 3 – Schema geometrico-cinematico di femore e tibia dell'esoscheletro

con

$$\beta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{c \sin \delta_2}{p_2} \right)$$

e

$$\begin{cases} \delta_2 = \pi - \theta_2 - \gamma_2 - \alpha_2 \\ p_2 = \sqrt{c^2 + d^2 - 2cd \cos \delta_2} \end{cases}$$

Queste due relazioni analitiche indicano le forze che devono applicare i servoassi, necessarie a controbilanciare il carico gravitazionale dovuto alle masse MT e MS di femore e tibia della sola struttura esoscheletrica.

Il sistema di controllo del movimento

Come primo passo nello studio del sistema di controllo è stato necessario definire la traiettoria nel piano sagittale, seguita dagli arti inferiori di un soggetto sano che deambula, in funzione del tempo. Per fare questo è stato allestito in laboratorio un set-up basato su una videocamera per la ripresa del movimento del soggetto sul tapis roulant, con una risoluzione di 25 fotogrammi/s. L'asse ottico della videocamera è stato posto perpendicolarmente rispetto al piano sagittale del soggetto, che nella visione bidimensionale è parallelo al piano del moto, a una distanza di 13 m. Al soggetto sono stati applicati 3 traguardi ottici sulla gamba destra: all'articolazione dell'anca, a quella di ginocchio e a quella di caviglia. Una griglia con dimensioni note è stata posta nel campo visivo della videocamera per convertire i pixel in millimetri. Dalla traiettoria di questi punti nel piano sagittale, ottenuta come funzione del tempo, si è poi risaliti alla legge di spostamento che devono realizzare gli attuatori, utilizzando la cinematica inversa di un modello multi body bidimensionale dell'esoscheletro costruito con il codice commerciale Working Model 2D (fig. 4). Il sistema di controllo del movimento che è stato sviluppato è basato sulla logica fuzzy, che consente semplicità e rapidità di sviluppo, oltre a garantire robustezza e un buon comportamento in sistemi nonlineari, come il caso in esame. L'architettura del controllo che è stata implementata è mostrata in figura 5. La variabile controllata è la posizione di ciascuno dei quattro cilindri pneumatici, mentre la variabile di controllo è la tensione di comando delle valvole proporzionali in pressione, una per ogni camera e quindi due per ogni cilindro. Il valore della posizione dei quattro azionamenti, variabile controllata, è utilizzata sia per il loop di controllo principale, che utilizza il modello cinematico inverso, sia per il loop di controllo secondario, che effettua una correzione delle tensioni alle valvole di comando, variabili di controllo, per i carichi aggiuntivi che vengono applicati all'esoscheletro, dovuti al paziente in terapia. Il controllore a logica fuzzy agisce soltanto sul loop di controllo principale. Questa logica di controllo sembra in grado di rispondere bene alle esigenze



KELLER Italy S.r.l.
Tel. 800 78 17 17 • Fax 800 78 17 18
officeitaly@keller-druck.com
www.keller-druck.com

TRASMETTITORI DI PRESSIONE AD ALTA PRECISIONE SERIE 33 X / 35 X, 41 X / PD-39 X



35 X HT

- 0...30 bar
- Precisione 0,2 %FS



33 X

- 0...1000 bar
- Precisione 0,05 %FS



35 X

- 0...1000 bar
- Precisione: 0,05 %FS

PD-39 X

- 0...3 bar
- 0...10 bar
- 0...25 bar
- 0...100 bar
- 0...300 bar
- Precisione < 0,1 %FS



41 X

- 0...30 mbar
- 0...50 mbar
- 0...100 mbar
- 0...200 mbar
- Precisione +/- 0,1 %FS



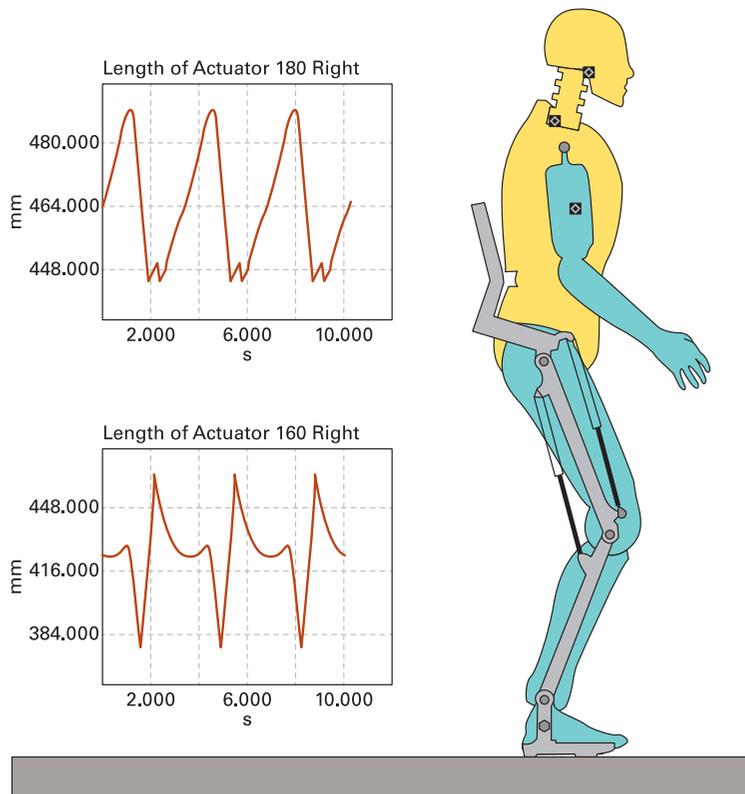


Fig. 4 – Risultati del modello cinematico inverso in Working Model 2D

applicative del GT, pur nella sua semplicità. La validazione completa del sistema di controllo sarà utile a individuarne i limiti e, qualora opportuno, potrebbe richiedere delle modifiche alla logica di controllo implementata. Come funzioni di appartenenza dell'errore di posizione in ingresso E sono state utilizzate delle funzioni triangolari, fatta eccezione per le etichette PL (Positive Large) e NL (Negative Large), per le quali sono state utilizzate funzioni trapezoidali, mentre come funzioni di appartenenza delle due uscite di ogni attuatore, tensione nella valvola di comando della camera posteriore e nella valvola di comando della camera anteriore, sono state utilizzate delle funzioni a un solo valore. Le funzioni sono state ottimizzate nei test sperimentali condotti in laboratorio con l'obiettivo di una prima validazione funzionale senza paziente. La figura 6 mostra un esempio della funzione di appartenenza ottimizzata dell'ingresso e delle due funzioni di appartenenza ottimizzate delle uscite per l'attuatore del giunto di anca. In tabella 1 sono poi riportate le regole utilizzate per tutti gli attuatori. Per la fuzzificazione è stata inoltre utilizzata la regola del min-max, prendendo il valore massimo, mentre per la defuzzificazione è stata utilizzata la regola del centro di gravità. L'algoritmo di controllo è stato implementato su PC104, un micro PC embedded con sistema operativo Windows CE.Net real time, che svolge la funzione di controllore del sistema. Il PC104 utilizzato è basato sulla scheda madre Athena, con processore Pentium III a 400 MHz e una scheda di acquisizione dati a 16 bit. La scheda lavora con frequenze di campionamento fino a 100 kHz, ha 4 canali analogici a 12 bit, 24 canali digitali e 2 canali counter/timer, e tutti i canali di acquisizione sono programmabili. Per ridurre il tempo di elaborazione e migliorare le prestazioni real-time del sistema di controllo, il controllore fuzzy è stato implementato sul PC104 mediante una hash table dove, per ciascuna gamba, sono caricati i dati interpolati del controllore che correlano la coppia di variabili angolari dei giunti alla coppia di posizioni degli attuatori corrispondenti.

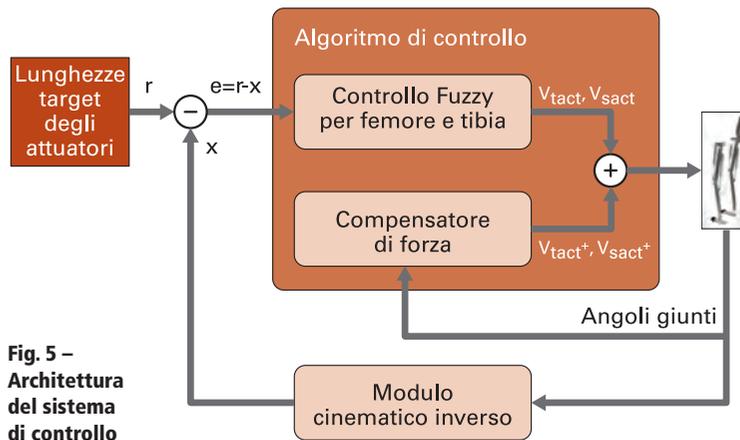


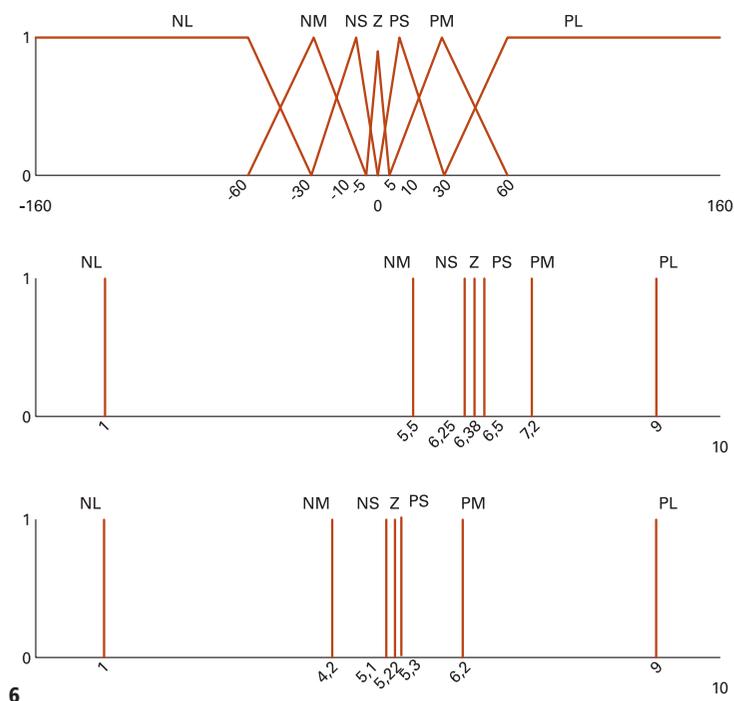
Fig. 5 – Architettura del sistema di controllo

TAB. 1 – REGOLE PER IL CONTROLLORE A LOGICA FUZZY.

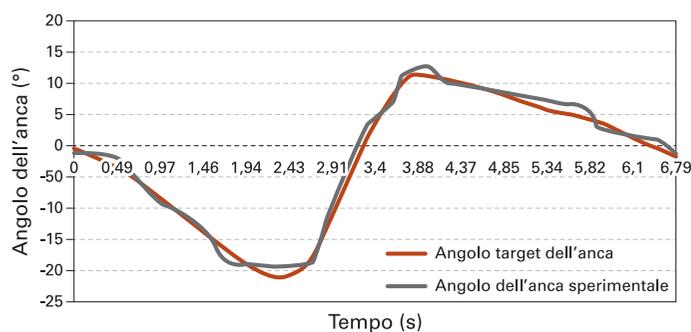
Regola N.	E	ANT	POS
1	PL	PL	NL
2	PM	PM	NM
3	PS	PS	NS
4	Z	Z	Z
5	NS	NS	PS
6	NM	NM	PM
7	NL	NL	PL

L'attività sperimentale

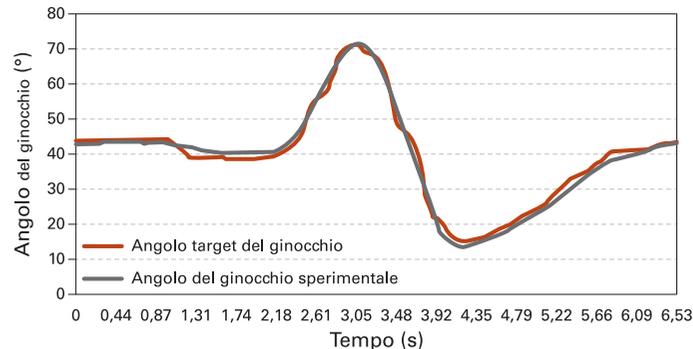
Terminata la realizzazione del prototipo è stata programmata una prima attività di sperimentazione in laboratorio senza paziente per la validazione funzionale del dispositivo. La sperimentazione punta ad avere delle risposte sulla bontà delle soluzioni adottate per l'architettura del GT, e in particolare dell'esoscheletro, per le soluzioni costruttive e per il sistema di controllo. La scheda del controllore è stata impostata a una frequenza di 10 kHz e la pressione di alimentazione dei cilindri a 0.6 MPa. Il GT è stato fatto



6



7



8

funzionare imponendo al controllore come movimento desiderato i dati della deambulazione acquisiti mediante i test di analisi del cammino descritti in precedenza. I dati acquisiti dai due trasduttori rotativi posti sull'articolazione dell'anca e su quella del ginocchio sono stati acquisiti e confrontati con i valori imposti al sistema di controllo. Questi dati sono caratteristici del cammino nel piano sagittale. La convenzione utilizzata per la rappresentazione di questi angoli caratteristici è quella diffusamente utilizzata in ambito scientifico per l'analisi del cammino: l'angolo del giunto di anca è positivo in verso antiorario ed è misurato tra la verticale e la direzione del femore, mentre l'angolo del giunto di ginocchio è positivo in verso orario ed è misurato tra la direzione del femore e la direzione della tibia. Con questa convenzione gli angoli assumono valore nullo con il paziente non deambulante in posizione eretta. Durante il passo, che ha un rapporto tra durata della fase di oscillazione e durata della fase di appoggio di 2 a 3, il femore si estende in avanti fino all'appoggio del tallone per consentire il contatto del piede con il terreno che si trova avanti alla persona. L'articolazione del ginocchio cede momentaneamente all'inizio della fase di appoggio per assorbire l'impatto del tallone sul terreno per poi flettersi ampiamente durante la fase di oscillazione. Si osserva una estensione dell'articolazione dell'anca, per la maggior parte della fase di appoggio, e una flessione durante la fase di

oscillazione. Nelle Figg. 7 e 8 è mostrato l'andamento degli angoli caratteristici dei giunti di anca e ginocchio rilevati sperimentalmente durante la campagna di prove, messi a confronto con i valori target di questi angoli, che sono stati imposti dal sistema di controllo. L'angolo del giunto di anca presenta una variazione da -20° a $+10^\circ$, mentre il giunto di ginocchio passa da 45° a 70° per poi ridursi a 15° , e il confronto non mostra grandi differenze tra i valori target e i valori rilevati durante la sperimentazione.

Conclusioni

Il lavoro presenta lo sviluppo di un Gait Trainer per finalità riabilitative, descrivendone la progettazione, la prototipazione e la prima validazione sperimentale in laboratorio. I primi risultati sperimentali sono incoraggianti e danno un feedback positivo sulle scelte della progettazione meccanica e del sistema di controllo. I prossimi step prevedono una fase di sperimentazione più ampia e completa per verificare la bontà della soluzione adottata, soprattutto per ciò che riguarda il sistema di controllo. ■

© RIPRODUZIONE RISERVATA

Ringraziamenti

Si ringrazia la Costruzioni Meccaniche srl, per il finanziamento di questa ricerca, e gli ing. Luca Auriti e Andrea Scena per l'utile contributo dato nel corso del lavoro.

Fig. 6 (A sinistra) – Funzioni di appartenenza del controllore fuzzy del servosistema che aziona il giunto di anca: ingresso E e uscite V_{Tant} e V_{Tpos}

Fig. 7 (in alto)– Andamento dell'angolo del giunto di anca rilevato sperimentalmente rispetto ai valori target del controllore

Fig. 8 (in basso) – Andamento dell'angolo del giunto di ginocchio rilevato sperimentalmente rispetto ai valori target del controllore.

BIBLIOGRAFIA

1. L. Auriti, A. Scena, T. Raparelli, P. Beomonte Zobel, F. Durante, «Development of a rehabilitation system for deambulation through physiological movements in erected position», in Applied Research and Education in Bioengineering, DIMEG, 2007
2. J. Yoon, B. Novandy, C. Yoon, and K. Park, «A 6-DOF Gait Rehabilitation Robot With Upper and Lower Limb Connections That Allows Walking Velocity Updates on Various Terrains», IEEE/ASME Trans. On Mechatronics, vol. 15, n. 2, april 2010