

Muscoli artificiali per la circolazione

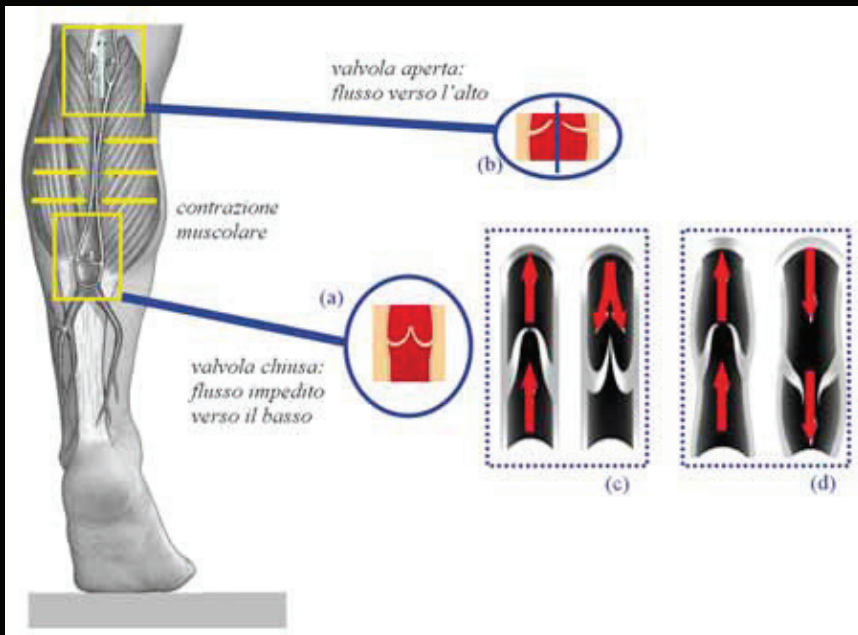
ANDREA MANUELLO BERTETTO

Il recupero della funzione circolatoria (sanguigna) con azionamenti pneumatici flessibili è ora possibile. Queste soluzioni rappresentano interessanti tematiche di ricerca della biomeccanica e della robotica non convenzionale

Un particolare tipo di attuatori pneumatici, meno diffusi dei tradizionali cilindri, ma non meno interessanti, è rappresentato dagli attuatori che sfruttano, per il loro principio di funzionamento, la cedevolezza di setti e pareti realizzati in materiali deformabili, solitamente in elastomero. Tra questi un posto importante occupano i cosiddetti muscoli pneumatici artificiali [1-5].

La circolazione sanguigna, arteriosa e venosa, porta il sangue dal cuore alla periferia e viceversa, svolgendo anche la fondamentale funzione di portare nutrienti e prodotti di scarto. Le vie, che diminuiscono in sezione di passaggio allontanandosi dai vasi principali verso le zone periferiche del corpo, interagiscono anche meccanicamente con gli organi del corpo.

Tale funzione è svolta anche grazie alla presenza nelle vene di valvole unidirezionali di non ritorno dette valvole a nido di rondine per la loro particolare morfologia. La distribuzione delle valvole unidirezionali nelle vene si intensifica dove il sangue scorre verso l'alto ed è necessario contrastare la forza di gravità, come avviene nelle vene delle gambe, mentre sono quasi assenti nelle vene della testa, del collo e nei polmoni.



1. L'azione delle valvole a nido di rondine nelle vene delle gambe.

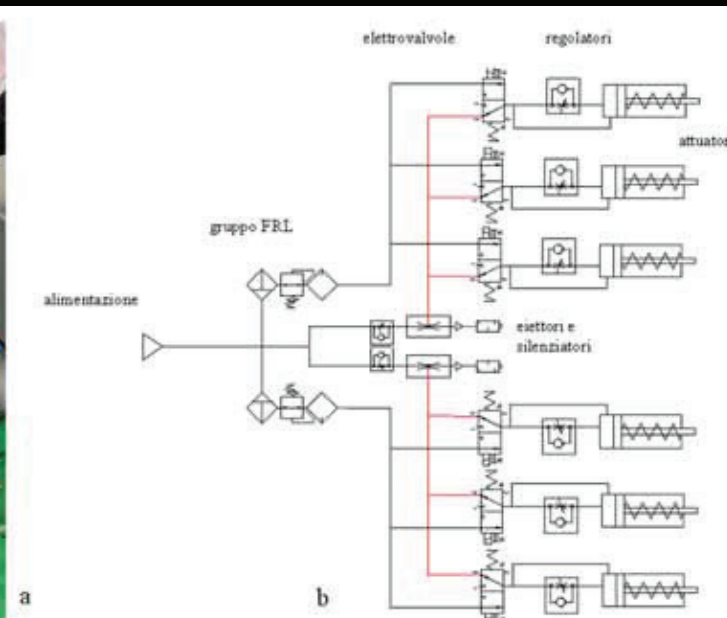
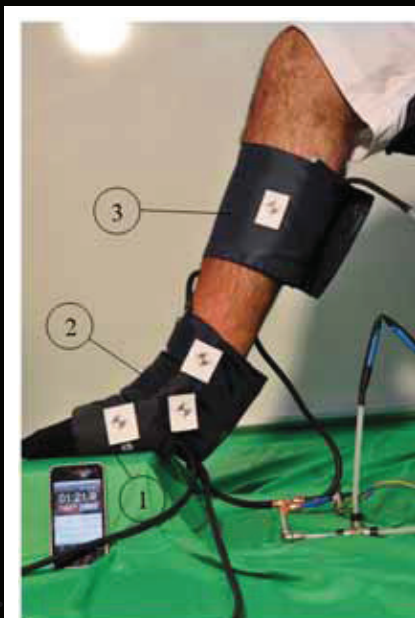
Queste valvole sono costituite da due membrane contrapposte, in modo da formare delle tasche con la concavità verso valle, rispetto al verso del flusso di sangue e, quindi, verso il cuore.

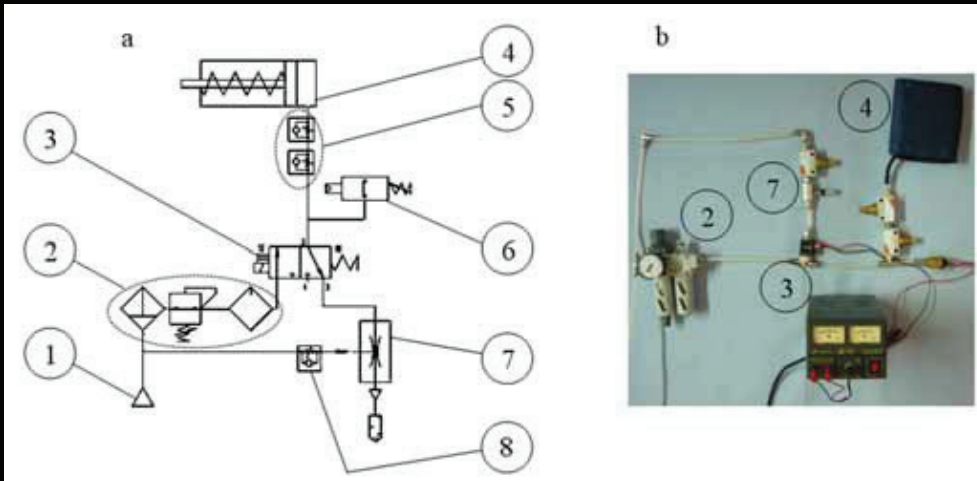
Nell'interazione con la persona, l'azione della pneumatica è utilizzata, con successo, per favorire e recuperare le funzioni circolatorie e linfatiche. In questo modo, se il sangue, per il salto di pressione, scorre dalla periferia al cuore, le membrane si addossano alla parete del vaso lasciando libero il passaggio del sangue; se, invece, il gradiente di pressione si inverte innescando un flusso di ritorno,



2. Sistema pneumatico per pressoterapia.

3. Sistema per il recupero dell'efficienza circolatoria in soggetti a mobilità limitata.





4. Sottosistema e schema circuitale per l'azionamento di attuttore flessibile.

che allontanerebbe il sangue dal cuore, le membrane si aprono gonfiandosi come la superficie di un paracadute portandosi una contro l'altra e chiudendo la luce di passaggio.

In figura 1 si vede uno schema del funzionamento delle valvole di non ritorno nelle vene delle gambe in corrispondenza della contrazione muscolare in fase di esecuzione del passo.

La contrazione provoca la salita del sangue lungo la vena safena grazie all'azione combinata delle valvole di non ritorno che si aprono e si chiudono a seconda del gradiente di pressione. In figura 1 (a) si vede una valvola a nido di rondine che si apre sotto l'azione di pressione del sangue consentendo il flusso verso l'alto, in figura 1 (b) la valvola inferiore impedisce il riflusso in basso. In figura 1 (c) e (d) sono confrontati i comportamenti schematici di valvole a nido di rondine nel caso di vena sana e di vena varicosa. In questo ultimo caso la vena si snerva aumentando di diametro, impedendo il contatto tra i lembi della valvola e non riuscendo più a impedire il riflusso.

Tale fenomeno si autoalimenta

esaltando il disturbo.

Accanto al circolo sanguigno è presente il circolo linfatico, si tratta di un complesso sistema di vasi, ubiquitario anch'esso rispetto alle diverse parti del nostro corpo, che svolge il ruolo fondamentale del drenaggio del liquido interstiziale.

A differenza del sangue, la linfa non viene spinta dall'attività cardiaca, ma scorre nei vasi mossa dall'azione dei muscoli.

Meccatronica per il recupero circolatorio

Un'interessante applicazione di attuatori flessibili a fluido è rappresentata dai sistemi che hanno la finalità di recupero di efficienza circolatoria. Una cattiva circolazione è un grave problema per le persone a mobilità limitata, essa è causata da un insufficiente pompaggio dei muscoli degli arti inferiori che, nella camminata, agiscono sulle grandi vene delle gambe.

In figura 2 si vede un sistema realizzato da All Trade di Rovereto (Repubblica di San Marino). Questo sistema pneumatico per pressoterapia è dotato di pressori inguinali e di fasce per il

trattamento delle zone lombari, dei glutei e delle gambe. La parte gonfiabile interna è stata realizzata in sezioni sequenziali inter-dipendenti per permettere uno svuotamento fisiologico, escludendo qualsiasi rischio di riflusso. Nella stessa figura si vedono anche due esempi di sacche attuarie alloggiata nella struttura del sistema [6].

Il gruppo di Meccanica Applicata alle Macchine del prof. Manuel-

BIBLIOGRAFIA

D. G. Caldwell, G. A. Medrano-Cerda and M. J. Goodwin, "Braided pneumatic actuator control of a multi-jointed manipulator", Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 423-428, Le Touquet, 1993.

J. M. Yarlott, "Fluid actuator", US Patent No. 3 645 173, 1972.

H. M. Paynter, "Hyperboloid of revolution fluid-driven tension actuators and methods of making", US Patent No. 4 721 030, 1988.

lo ed il gruppo del prof. Concu del laboratorio di Fisiologia dello Sport entrambi dell'Università degli Studi di Cagliari hanno sviluppato sistemi per il recupero dell'efficienza circolatoria in soggetti a mobilità limitata [7-11]. Uno dei dispositivi è rappresentato nella fotografia di figura 3a; in figura 3b si vede lo schema circuitale dell'impianto pneumatico che alimenta il sistema. Il sistema ha tre attuatori flessibili. Di questi il primo (1) agisce sulla pianta del piede, riproducendo l'azione pressoria del suolo durante la camminata; il secondo (2) permette di realizzare la rotazione della caviglia, mimando la rotazione durante il passo; il terzo (3) realizza una compressione radiale del polpaccio e simula l'azione di pompaggio dei muscoli sulle vene delle gambe. Ciascuno degli attuatori del sistema rappresentato in figura 3 è stato provato separatamente prima di essere integrato. Il singolo sottosistema è rappresentato in

figura 4a con il suo schema circuitale, in figura 4b.

L'aria compressa alimenta il sottosistema da (1) ed è trattata dal gruppo FRL (filtro, regolatore, lubrificatore) (2). L'elettrovalvola (3) distribuisce il flusso all'attuatore deformabile (4) la cui velocità di attuazione è regolabile con lo strozzatore (5).

Al fine di evitare danni al paziente si ha il pressostato (6) che, raggiunta la soglia prefissata, agisce commutando la valvola (3).

La fase di svuotamento dell'attuatore è facilitata da un ambiente di scarico in depressione mantenuto in tale condizione dall'eiettore (7) la cui efficacia è regolabile con lo strozzatore (8). Il sistema è controllato da un PLC.

Cosa dire

Gli attuatori deformabili a fluido, tra cui ci sono i muscoli pneumatici, rappresentano una delle più recenti e interessanti tematiche di ricerca della biomeccanica e della robotica non convenzionale.

Questo particolare tipo di attuatori trova applicazioni in molte realtà in cui l'interazione uomo-macchina in campo medicale è alla base del principio di funzionamento del sistema per il raggiungimento dell'obiettivo principale di un miglioramento delle condizioni di vita.

Alcuni ringraziamenti. Il Ministero italiano dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca ha contribuito al finanziamento delle ricerche descritte in questo lavoro. L'autore desidera ringraziare l'azienda All Trade di Rovereta (Repubblica di San Marino) e, in particolare, il dott. Maurizio Ventura, della direzione commerciale di All Trade, per le informazioni fornite e la cortese concessione della pubblicazione delle immagini.

A. Manuello Bertetto, professore ordinario di meccanica applicata alle macchine, dipartimento di ingegneria meccanica chimica e dei materiali - Università degli Studi di Cagliari.

M. Kukulj, "Axially contractible actuator", US Patent No. 4 733 603, 1988.

J. Marcin in and A. Palko, "Negative pressure artificial muscle - An unconventional drive of robotic and handling systems", Transactions of the University of Košice, pp. 350 - 354, Riečansky Science Publishing Co, Slovak Republic, 1993.

<http://www.alltrade.sm/>

A. Manuello Bertetto, S. Meili, A. Concu, A. Crisafulli, Flexible Pneumatic Actuation for Blood Pressure Recovery, 4TH International Symposium on

Multibody Systems and Mechatronics (MUSME 2011), October 25 - 28, 2011: Valencia, Spain.

Manuello Bertetto A., Meili S., Concu A., Crisafulli A. (2012). An Inflatable Pneumatic System For Blood Pressure Recovery.

Mechanics Based Design of Structures and Machines, vol. 40, p. 506-518, ISSN: 1539-7734, doi: 10.1080/15397734.2012.687312

A. Manuello Bertetto, Pneumatica e muscoli, attenti a quei due, *Oleodinamica Pneumatica*, pp. 34-39, (dicembre 2012), ISSN 1122-5017.

A. Manuello Bertetto, S. Meili, A. Concu, A. Crisafulli, S. Roberto, R. Milia, Inflatable balloon device for blood flow recovery, 21th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region - RAAD 2012, 10- 13 September 2012. Naples, Italy. ISBN 978-88-95430-45-4.

A. Manuello Bertetto, M. Meletti, Mechatronic Device for Stimulating the Blood Circulation: Design and Implementation, 22th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region - RAAD 2013, 11- 13 September 2013. Portoroz, Slovenia. Submitted for publication.