

Sistemi robotici nel progetto riabilitativo individuale

ROBOTIC SYSTEMS IN THE INDIVIDUAL REHABILITATION PROJECT

Serena Filoni

Specialista in Medicina Fisica e Riabilitativa, Fondazione Centri di Riabilitazione Padre Pio ONLUS, Presidio "Gli Angeli di Padre Pio" San Giovanni Rotondo (FG)

Riassunto

L'utilizzo della robotica sta rivoluzionando il mondo della riabilitazione. Gli studi sui dispositivi robotici hanno dimostrato la validità e l'efficacia di questi strumenti nella riabilitazione dell'andatura e nella riabilitazione dell'arto superiore, specialmente se usati in associazione con la fisioterapia convenzionale nei pazienti affetti da esiti di ictus. Tra questi, quelli che hanno ricevuto un trattamento fisioterapico in combinazione con dispositivi robotici hanno maggiori probabilità di raggiungere risultati migliori rispetto ai pazienti che ricevono solo un allenamento di tipo convenzionale. Ciò conferma che l'uso della robotica può influenzare positivamente l'esito di una riabilitazione.

Abstract

The use of robotics is revolutionizing the world of rehabilitation. Studies on robotic devices proved the validity and effectiveness of these tools in gait rehabilitation and in rehabilitation of upper limb, especially if used in association with conventional physiotherapy in stroke patients.

Stroke patients who received physiotherapy treatment in combination with robotic devices are more likely to reach better results, compared to patients who receive conventional training alone. This confirms that the use of robotics can positively affect the outcome of rehabilitation.

Parole chiave

Robotica
Neuroriabilitazione
Esoscheletro
End-effector
Ictus

Keywords

Robotics
Neurorehabilitation
Exoskeleton
End-effector
Stroke

L'utilizzo della robotica sta rivoluzionando il mondo della riabilitazione¹. La pubblicazione della Cochrane Review del 2015² ha definitivamente chiarito che l'integrazione tra la fisioterapia tradizionale e l'utilizzo di *device* tecnologicamente avanzati migliora gli *outcome* soprattutto nella riabilitazione post stroke. La neuroplasticità, specialmente dopo una lesione cerebrale, richiede una combinazione di strategie riabilitative intense e ripetitive per il raggiungimento dei target. I robot attraverso le loro caratteristiche di ripetibilità,

motivazione, interazione con feedback aumentativo o realtà virtuale permettono di effettuare training motori molto intensivi. Inoltre, uno dei vantaggi più importanti della terapia assistita da robot è quello di permettere al fisioterapista un training del cammino fisiologico, registrando le prestazioni del paziente durante l'esercizio, ottenendo indicatori oggettivi del miglioramento ottenuto e permettendo al riabilitatore di lavorare secondo i principi della riabilitazione basata sull'evidenza.

SISTEMI ROBOTICI: STORIA FINO AI GIORNI NOSTRI

I primi modelli di robot risalgono alla fine dell'Ottocento, ma dobbiamo aspettare gli anni Settanta per vedere la nascita del primo esoscheletro. I primi robot nascevano come strumenti per migliorare le performance umane durante il lavoro o per scopi militari.

Il primo robot concepito per il recupero neuro-riabilitativo dell'arto superiore è stato progettato nel 1979 e commercializzato nel 1991, mentre i robot per il recupero della funzione del cammino risalgono alla fine degli anni Novanta.

Da quel momento si è assistito a una straordinaria diffusione di strumenti robotici nella riabilitazione neurologica, questo grazie anche alla collaborazione tra il mondo sanitario e discipline quali l'ingegneria elettronica, meccanica, informatica e biomedica. Dalla fine negli anni Novanta a oggi, le pubblicazioni sull'argomento hanno avuto un andamento esponenziale e le recenti revisioni sistematiche² incoraggiano a proseguire lo sviluppo di que-

sti robot che mostrano un'evidente potenzialità. Sono vari i motivi per cui le nuove tecnologie stanno diventando sempre più parte integrante del mondo della riabilitazione. Ci sono certamente motivazioni sociali legate all'invecchiamento della popolazione (nel 2030 circa il 25% delle persone avrà più di 65 anni, nel 2050 questo numero sarà più che raddoppiato), all'aumento del costo delle cure sanitarie e al crescente onere che le menomazioni hanno sulla vita quotidiana. Vi è una conseguente necessità di nuovi approcci che possano far fronte alla futura domanda. I nuovi device potrebbero anche contribuire a ridurre i costi di assistenza sanitaria soprattutto se pensati anche per essere utilizzati a domicilio con una supervisione in remoto. Un'altra motivazione è l'inarrestabile rapidità dello sviluppo di nuove tecnologie disponibili. Questo apre ogni giorno nuovi scenari di applicazione e cambia l'atteggiamento delle persone verso l'uso delle nuove tecnologie.

DEFINIZIONE

La prima domanda a cui rispondere è: che cosa è un robot? La risposta non è così ovvia e si rischia di far confusione, soprattutto in un momento, come questo, in cui i nuovi livelli essenziali di assistenza (LEA) emanati dal Ministero della Salute includono, finalmente, anche la riabilitazione robotizzata. Nei LEA si parla specificatamente di "Rieducazione Motoria mediante apparecchi di assistenza robotizzati ad alta tecnologia" individuando l'appropriatezza prescrittiva in: "rieducazione motoria di gravi patologie secondarie a lesioni dell'SNC, con l'esclusione delle patologie neurodegenerative. Per seduta di 45 minuti. Ciclo di 10 sedute".

Una delle definizioni che meglio include le varie caratteristiche è: "I robot utilizzati in riabilitazione e rieducazione funzionale sono sistemi tecnologici costituiti da sensori, attuatori, sistemi di controllo e software. Essi sono in grado di sostituire, supplire e quando necessario, rispondere attivamente, adattandosi alle attività e alle funzioni, residue o assenti, dell'essere umano" (©Giacomo Francesco Forte, Serena Filoni ed Emanuele Francesco Russo – diritti riservati con marcatura n. 44735).

BASI NEUROFISIOLOGICHE

È dimostrato che l'esercizio terapeutico può favorire fenomeni di riorganizzazione plastica a livello del sistema nervoso centrale, il quale è continuamente sollecitato da stimoli fisiologici, ambientali ed esperienziali³. L'esperienza è un elemento cruciale nei processi di apprendimento e sviluppo dell'essere umano. I fenomeni di apprendimento sono dimostrabili come processi di riorganizzazione a diversi livelli: comportamentale, anatomico, cellulare e molecolare^{4,5}. Ci sono numerose evidenze che specifici protocolli applicativi possono promuovere fenomeni di neuroplasticità cerebrale anche in pazienti adulti e che un esercizio riabilitativo precoce, immediatamente dopo un evento ischemico, possa limitare i fenomeni di plasticità maladattativa come la perdita della rappresentazione corticale corporea^{5,6}. Nelle prime fasi dopo un evento ischemico è stato identificato un periodo particolarmente plastico, suscettibile di importanti micro- e macromodificazioni, nel quale il sistema nervoso centrale si riorganizza ed è possibile ottenere il maggior recupero sia qualitativo sia quantitativo; si stima che tale periodo sia nei primi sei mesi dopo un evento acuto. I miglioramenti che è possibile osservare nei primi tempi sono dovuti a fenomeni di risoluzione

della penombra ischemica, della diaschisi e dell'angiogenesi e ripristino di reti nervose ipsi- e controlaterali^{5,7}.

La riabilitazione dei pazienti affetti da ictus si basa attualmente sul cosiddetto **allenamento orientato al compito** (*task-oriented training approach*), in cui l'esercizio proposto è incentrato sul **riapprendimento di attività funzionali della vita quotidiana**, sulla base delle esigenze del singolo paziente e del contesto ambientale in cui egli vive e opera. Questo approccio di esercizio basato su un compito svolge un ruolo cruciale nello sviluppo di dispositivi robotici⁸. Infatti il robot consente un esercizio finalizzato all'esecuzione di un compito, la sua ripetizione costante e un livello di difficoltà crescente che pone il paziente sempre al limite delle proprie prestazioni; il robot si adatta a diversi livelli di abilità del paziente consentendo *training* intensivi. Il *feedback* aumentativo o la realtà virtuale rendono motivante il training e ovviamente l'impegno e l'attenzione del paziente sono alla base dell'apprendimento motorio. Pertanto è possibile concludere che i fattori di recupero, soprattutto nella riabilitazione *post stroke*, sono: un ambiente arricchito, un training orientato a un uso funzionale dell'arto ed esercizi motivanti e coinvolgenti. Tutte queste caratteristiche sono parte integrante di una riabilitazione robot assistita.

CLASSIFICAZIONE

Una classificazione dei dispositivi per la riabilitazione è basata sul tipo di interfaccia meccanica tra il paziente e il robot. Sulla base di questo criterio, esistono due grandi gruppi di robot: gli **esoscheletri** e i **robot end-effector**^{2,9}.

Esoscheletri

Sono sistemi meccatronici indossabili che eseguono lo stesso tipo di movimento svolto dal paziente e nei quali l'interfaccia uomo-macchina è estesa a tutto l'arto (o alla parte di esso) di interesse clinico; il numero di gradi di libertà della macchina è uguale a quello delle articolazioni sulle quali la terapia riabilitativa ha l'obiettivo di intervenire (figura 1).

I vantaggi degli esoscheletri sono un controllo indipendente dei singoli giunti articolari, un controllo delle differenti sinergie muscolari e una progettazione accurata per soddisfare i requisiti antropometrici e cinematici dei singoli giunti ar-



Figura 1 Training deambulatorio e del passo di un paziente affetto da paralisi cerebrale infantile con esoscheletro robotizzato per arto inferiore (Lokomat-PRO, pgc Hocoma).

ticolari; tra gli svantaggi possiamo considerare la complessità progettuale, funzionale e tecnica per poter soddisfare i requisiti antropometrici e per generare il movimento (figura 2).

Un gruppo particolare di esoscheletri sono i robot indossabili. Essi sono stati utilizzati nel campo militare e sono approdati nel mondo riabilitativo intorno al 2000. Inizialmente erano utilizzati nella riabilitazione del paziente affetto da esiti di mielolesione come strumento sia riabilitativo sia "sostitutivo". Attualmente trovano applicazione anche in altre patologie neurologiche. Gli esoscheletri indossabili hanno caratteristiche molto diverse tra loro: alcuni sono progettati per essere utilizzati, dopo un'opportuna fase di trai-

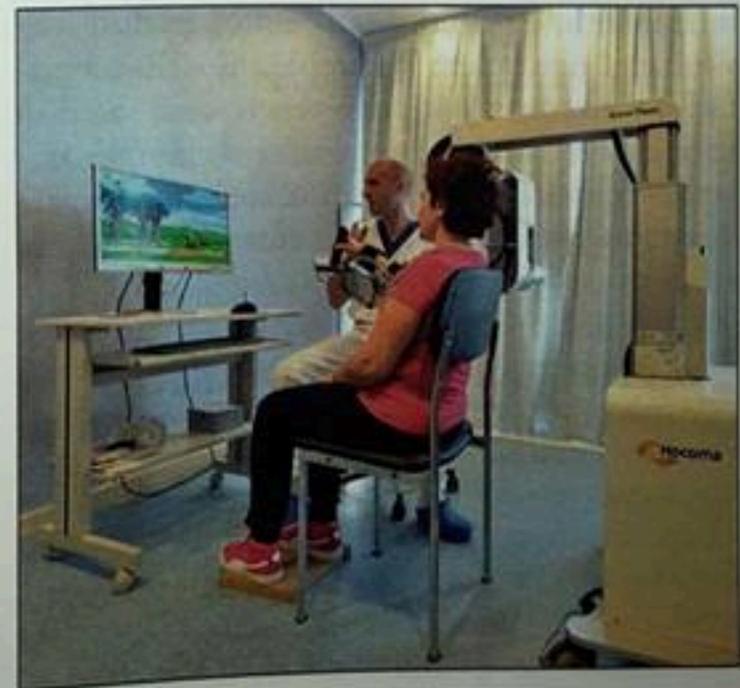


Figura 2 Training con esoscheletro (Armeo Power, pgc Hocoma).



Figura 3 Training con esoscheletro indossabile (Ekso GT, pgc Bionics).

ning, in autonomia dal paziente al di fuori del contesto riabilitativo (figura 3).

Sistemi end-effector

Questi sistemi sono *device* in cui il contatto fra la struttura meccanica e il paziente è limitato all'effettore a cui il soggetto è collegato tramite un'interfaccia meccanica (per esempio, una maniglia o un manipolo). Gli *end-effector* sono robot generalmente meno complessi, con una grande facilità di programmazione degli esercizi da far eseguire grazie a un settaggio molto più semplice, che sfruttano esclusivamente le naturali sinergie implementate a livello di controllo motorio senza attuare direttamente i singoli gradi di libertà.

Gli esercizi proposti da questi robot sono facilmente programmabili ed è possibile trattare separatamente i segmenti distali e prossimali. I loro svantaggi riguardano la complessità della progettazione mecatronica per ottenere bassi valori di frizione e inerzia; la complessità dell'implementazione delle strategie di controllo; l'impossibilità di controllare indipendentemente i singoli giunti articolari.

INTEGRAZIONE NEL PROGETTO RIABILITATIVO INDIVIDUALIZZATO

Il progetto riabilitativo individualizzato (PRI) è quell'insieme di proposizioni, elaborato dall'*équipe* riabilitativa, coordinata dal medico responsabile che in maniera globale prende in considerazione bisogni, preferenze, menomazioni, disabilità, abilità residue e recuperabili e fattori ambientali, contestuali e personali del paziente.

Il PRI definisce gli esiti desiderati, le aspettative, le priorità e il ruolo dell'*équipe* riabilitativa, nonché gli obiettivi (a breve, medio, lungo termine), i tempi previsti, le azioni necessarie per il raggiungimento di tali obiettivi. Il PRI deve sempre essere condiviso con il paziente, la famiglia e tutti gli operatori coinvolti e deve essere periodicamente modificato e adattato.

Studi recenti² dimostrano che la terapia robotica in combinazione con la terapia convenzionale è più efficace della fisioterapia come unico trattamento, soprattutto se la presa in carico è precoce e intensiva. La rieducazione alla deambulazione assistita da robot, in combinazione con la fisioterapia, ha aumentato le probabilità di raggiungere una migliore indipendenza nella stazione eretta e nella deambulazione.

Mentre la revisione di Mehrholz del 2015² è particolarmente positiva sui risultati della robotica nel recupero dell'arto inferiore, lo stesso non si può dire per l'arto superiore, dove la sfida è ancora aperta. Gli Autori hanno confrontato 34 trial (1160 pazienti) valutando *outcome* primari, che riguardano le attività di vita quotidiana (strumenti utilizzati: *Barthel Index* e *FIM*), e secondari (strumenti utilizzati: *Functional mobility assessment - FMA*, *Motricity Index*, *MRC Muscle scale*). La revisione ha concluso che l'utilizzo di robot migliora le attività della vita quotidiana, la funzione dell'arto superiore e la forza, ma la qualità di tale evidenza è bassa. Gli Autori hanno rilevato miglioramenti significativi nel sottogruppo dei partecipanti trattati nella fase acuta e subacuta, ma non nei pazienti cronici. Il potenziale vantaggio dei dispositivi, rispetto alle terapie convenzionali, può essere un aumento delle ripetizioni durante l'allenamento dell'arto superiore e un aumento della motivazione che i pazienti sperimentano. Gli Autori azzardano l'ipotesi che i pazienti siano in grado di effettuare la terapia robotica anche senza un fisioterapista e che, quindi, si potrebbe sostenere che la terapia assistita da robot per l'arto superiore dopo ictus è più efficace nel migliorare le attività della vita quotidiana, la funzionalità e la forza rispetto ad altri interventi se viene offerto loro un alto numero di ripetizioni (dose più alta).

I SISTEMI ROBOTICI A SERVIZIO DEL FISIOTERAPISTA

Le innovazioni tecnologiche, e i dispositivi robotici in particolare, sono molto importanti

Figura 4 Il team riabilitativo dell'Unità Operativa di Riabilitazione Tecnologica della Fondazione Centri di Riabilitazione Padre Pio Onlus: medico fisiatra, ingegnere biomedico, fisioterapisti, terapisti della neuro- e della psicomotricità dell'età evolutiva.



nella pratica sia nella fase della valutazione sia durante il trattamento riabilitativo. Questi strumenti non sostituiscono la buona pratica clinica basata sull'evidenza, ma apportano valore aggiunto^{5,10} grazie al fatto che il loro intervento permette trattamenti ad alta intensità, standardizzati, orientati al compito motorio e interattivi; tutti questi fattori sono la base, come già detto, della neuroplasticità e dell'apprendimento motorio^{5,9}. Nella tabella 1 sono riassunte le principali patologie neurologiche a cui si rivolge la robotica.

Il fisioterapista che può accedere a tali strumentazioni potrà determinare misure accurate, come la forza, la velocità, la precisione, la resistenza e la potenza del movimento, che altrimenti sarebbero difficilmente valutabili, così come monitorare le prestazioni del paziente archiviando una innumerevole quantità di dati^{5,9}. Inoltre, potrà personalizzare al massimo l'esercizio in termini di frequenza, intensità, durata e resistenza e questo gli permetterà di spingere il paziente al limite delle proprie capacità durante ogni singola sessione di *training*. Soprattutto nel *training* che riguarda la deambulazione, il riabilitatore sarà agevolato dalla riduzione del carico di lavoro, in quanto il robot è in grado di sostenere anche totalmente il peso corporeo del paziente, rendendo più confortevole il training in termini di sicurezza e prevenzione del rischio di caduta.

Un fisioterapista attento e capace sarà anche in grado di limitare gli svantaggi (pochi in realtà) legati all'uso del dispositivo, come la ridotta comunicazione dell'interfaccia uomo-macchina, la contenuta possibilità di eseguire l'esercizio in un ambiente specifico o la limitata opportunità di variare esercizio, per esempio camminando in ambienti differenti, su terreni eterogenei^{5,9}.

Sarà fondamentale il ruolo di ogni componente del team riabilitativo nella selezione del paziente da avviare al trattamento robotico, tenendo sempre in considerazione le indicazioni, le priorità, le controindicazioni assolute e relative, queste ultime, spesso superate dall'esperienza (figura 4).

Fondamentale sarà anche il momento dell'assegnazione del caso clinico. Contrariamente a quanto si possa pensare, il *training* robotico è operatore-dipendente esattamente come moltissime altre tecniche riabilitative convenzionali. Nell'approccio con il robot, ogni riabilitatore utilizzerà tutta la sua conoscenza di base e la sua esperienza personale pregressa: è assolutamente errata l'ipotesi che il robot possa sostituire l'operatività del fisioterapista^{5,11}. Il robot è concepito come uno strumento adeguato a migliorare la pratica clinica e ad accrescere le strategie terapeutiche a disposizione^{5,11,12}.

Riflessioni necessarie

Ciò che rimane ancora poco chiaro è la **quantità ottimale di robotica "da somministrare"** in termini di frequenza settimanale (3-5 sessioni/settimana?) e durata della sessione (45-60 minuti/sessione), durata del percorso riabilitativo robotico (fino a un anno dall'evento acuto? Fino alla stabilizzazione dei risultati?). Un **progetto riabilitativo** che sia davvero **individualizzato** dovrà forzatamente essere impostato **in funzione del singolo paziente** e, in assenza di protocolli standardizzati da seguire, la risposta a ognuna di queste domande sarà: "dipende". Certamente esiste il rischio di "illudere" i pazienti con aspettative eccessivamente elevate, soprattutto laddove gli obiettivi non sono ragionevolmen-

Tabella 1 Riabilitazione con la robotica: principali patologie neurologiche che possono trarne beneficio

- Lesione midollare completa e incompleta
- Emiplegia/emiparesi
- Grave cerebrolesione acquisita
- Sclerosi multipla
- Paralisi cerebrale infantile
- Malattia di Parkinson
- Esiti di poliomielite
- Polineuropatie periferiche (Guillan Barré eccetera)

te perseguibili. Si può ovviare a questo con una conoscenza approfondita delle caratteristiche del singolo paziente, con riunioni di team periodiche che chiariscano gli obiettivi, che devono sempre essere precisati al paziente e ai *caregiver*, specialmente laddove si operi con tipologie di pazienti diversi dai soggetti affetti da esiti di stroke, come nel caso di pazienti affetti da lesioni midollari complete o di pazienti in età evolutiva affetti da paralisi cerebrale infantile, per i quali le attese genitoriali non sempre sono realistiche.

Non bisognerebbe mai cedere alla richiesta seppur legittima del "fammi rivedere in piedi" e sarebbe necessario frenare eccessivi entusiasmi o euforie incontrollate, mantenendo sempre una professionalità comprovata.

È sempre fondamentale chiarire gli obiettivi per arrivare anche a un "no", che sia però consapevole e condiviso dal team; bisogna saper comunicare le eventuali controindicazioni al paziente e alla famiglia e attendere che questa notizia sia

lentamente metabolizzata, anche con l'aiuto di un supporto psicologico se necessario.

Bisogna sempre ricordare il punto di vista del paziente, che vive la robotica come un'incredibile opportunità. Il riabilitatore che ha la fortuna di operare con questi sistemi capirà presto che oltre agli aspetti sensitivi e motori, il *device* farà emergere anche reazioni emotive. La robotica è percepita dal paziente come un'estensione delle proprie capacità e come un qualcosa che esteticamente diventa "parte di sé", modificando la percezione del proprio corpo e del mondo circostante. Quanti pazienti, soprattutto affetti da esiti di mielolesione, hanno presenziato a momenti cruciali della propria vita, come la laurea o il matrimonio, in piedi!

La percezione del paziente è che la robotica sia un "aiuto reale" e questa è una delle ragioni per cui la motivazione e la partecipazione al training è molto alta.

All'operatore della riabilitazione che utilizza i robot si chiede di abbattere le barriere, soprattutto mentali, che in passato hanno limitato il loro utilizzo e di massimizzare le loro potenzialità nella pratica clinica. Fondamentale è l'attitudine positiva al cambiamento, la convinzione che si tratti di un valore aggiunto, dimostrato ampiamente dalle evidenze scientifiche, dai risultati clinici, dall'efficacia e dall'incredibile *compliance* da parte del paziente.

L'accettazione è importante almeno quanto la conoscenza e la formazione rispetto all'utilizzo del *device* per poterlo davvero integrare nella propria pratica clinica quotidiana. È necessario secondo Hochstenbach¹³ che tale integrazione avvenga gradualmente scomponendo il processo in cinque fasi: orientamento, introduzione, accettazione, cambiamento e perfezionamento.



BIBLIOGRAFIA

1. BRUNI MF, MELEGARI C, DE COLA MC, ET AL. What does best evidence tell us about robotic gait rehabilitation in stroke patients: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Neurosci* 2018; 48: 11-7.
2. MEHRHOLZ J, POHL M, PLATZ T, KUGLER J, ELSNER B. Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane database Syst Rev* 2015; 11(11): CD006876.
3. SVENSSON M, LEXELL J, DEIERBORG T. Effects of physical exercise on neuroinflammation, neuroplasticity, neurodegeneration, and behavior: what we can learn from animal models in clinical settings. *Neurorehabil Neural Repair* 2015; 29(6): 577-89.
4. PASCUAL-LEONE A, AMEDI A, FREGNI F, MERABET LB. The plastic human brain cortex. *Annu Rev Neurosci* 2005; 28: 377-401.
5. LUCCA LF, PIGNOLO L, MAZZOLENI S. La robotica in neuroriabilitazione. Padova: Piccin, 2016.
6. NUDO RJ, WISE BM, SIFUENTES F, MILLIKEN GW. Neural substrates for the effects of rehabilitative training on motor recovery after ischemic infarct. *Science* 1996; 272(5269): 1791-4.
7. BUMA F, KWAKKEL G, RAMSEY N. Understanding upper limb recovery after stroke. *Restor Neurol Neurosci* 2013; 31(6): 707-22.