

# Mielolesione: gli esoscheletri indossabili

SPINAL CORD INJURY: WEARABLE EXOSKELETON

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

La lesione del midollo spinale è una grave malattia neurologica associata non solo a complicazioni mediche, ma anche a una significativa perdita di mobilità e partecipazione. Le tecnologie robotiche per il recupero della funzione degli arti inferiori sono state ampiamente utilizzate nella pratica riabilitativa.

## Abstract

Spinal cord injury is a severe neurological disorder associated not only with ongoing medical complications but also with a significant loss of mobility and participation. The introduction of robotic technologies for the recovery of lower limb function has been widely employed in rehabilitative practice.

## Parole chiave

Robotica  
Tecnologia  
Esoscheletro  
Stroke  
Lesione midollare

## Keywords

Robotics  
Technology  
Exoskeleton  
Stroke  
Spinal cord injury

In riabilitazione un esoscheletro – dal greco *ἐξω* (*exo*), al di fuori – è un dispositivo elettromedicale utilizzato per la deambulazione di persone che hanno deficit motori agli arti inferiori. L'utilizzo del robot può facilitare, tramite un esercizio specifico, il recupero del cammino in fase post-acuta nelle persone che presentano una lesione del sistema nervoso centrale e conseguente limitazione funzionale agli arti inferiori. Per altri pazienti, per esempio con grave e permanente menomazione quale una paraplegia da lesione midollare completa, il robot può avere un'azione sostitutiva della funzione motoria degli arti inferiori.

Ci sono varie definizioni di esoscheletro: una di queste lo presenta come una **struttura esterna che ricopre le parti del corpo umano e ha elementi corrispondenti a quelle del corpo umano**<sup>1</sup>; altra definizione spesso citata è quella

di Dollar che lo definisce come un **dispositivo attivo meccanico**, essenzialmente di natura antropomorfa, che è "indossato" da un operatore e ben aderente al suo corpo, e lavora in concerto con i suoi movimenti. In generale, il termine esoscheletro è usato per descrivere un dispositivo che aumenta le prestazioni di chi lo indossa<sup>2</sup>.

Un esoscheletro indossabile ha tre funzioni principali: **aumentare le prestazioni motorie dell'utente, riabilitare la deambulazione e assistere la deambulazione**.

## STORIA FINO AI GIORNI NOSTRI

I primi modelli di robot esoscheletrico<sup>3</sup> risalgono addirittura al 1890 quando Yagn brevettò, senza però mai costruirlo, un modello che aveva chiamato *Yagn's Running Aid*. Nel 1971, Fick & Ma-

chinson realizzarono il primo esoscheletro (*GE's Hardiman*) il cui utilizzo era quello di aumentare le prestazioni sul lavoro. Anche *Bleex*, esoscheletro costruito nel 2006, così come HULC o XOS2, aveva lo stesso scopo, cioè permettere ai soldati americani di trasportare enormi carichi negli spostamenti in territori impervi durante le missioni militari. Negli stessi anni venivano progettati e realizzati dal *Kangawa Institute of Technology* altri robot che assistevano professionisti sanitari per il sollevamento di carichi, i cosiddetti *Nurse-assisting exoskeleton*: risulta chiaro, quindi, che nessuno degli esoscheletri finora citati sia stato progettato e realizzato per l'ambito riabilitativo. Solo nel 2010, unendo le conoscenze ingegneristiche alla base degli esoscheletri presenti nel mondo militare e le conoscenze su argomenti come le ortesi utilizzate per i pazienti affetti da lesioni midollari, è nato Rex (Rex Bionics), il primo robot indossabile concepito e prodotto per permettere ai pazienti affetti da paraplegia di alzarsi in piedi e deambulare. Rex, tuttora in commercio, è un esoscheletro la cui interfaccia è costituita "semplicemente" da un joystick che il paziente può utilizzare per muoversi. Sempre nel 2010, in Israele è stato progettato e realizzato ReWalk (ReWalk Robotics), mentre nel 2011 sul mercato è arrivato Ekso (Ekso Bionics) e nel 2013 Indego (Parker). In questi ultimi anni numerosi sono stati i prototipi e i modelli sviluppati da importanti Università e case costruttrici. Il sogno di un utilizzo personale e *home* a un costo sostenibile è davvero a un passo.

### CARATTERISTICHE DEI PRINCIPALI ESOSCHELETRI INDOSSABILI

Un'interessante *review* pubblicata nel 2015 da Thomas e coll.<sup>4</sup>, descrive i cinque robot indossabili più noti, prendendo in considerazione e confrontando caratteristiche, utilizzo e costi dei vari *device*.

#### Rex

È stato uno dei primi esoscheletri utilizzati nella riabilitazione del paziente mieloso: si tratta di un robot antropomorfo progettato per permettere al soggetto di alzarsi in piedi, deambulare, salire e scendere le scale, senza l'utilizzo di deambulatore o bastoni canadesi; il movimento è gestito dal paziente attraverso un joystick.

Questo robot, molto pesante rispetto agli altri



**Figura 1** ReWalk: costituito da quattro attuatori, permette la flessione-estensione di anca e ginocchio.

(circa 38 Kg) è l'unico costituito da sei attuatori (anca, ginocchio e caviglia) e può essere impiegato per uso personale dopo opportuno training e, quindi, utilizzato a domicilio.

#### ReWalk

È costituito da quattro attuatori che permettono la flessione-estensione di anca e ginocchio. Il paziente che lo indossa può alzarsi, sedersi, iniziare la deambulazione e fare le scale attraverso un *tilt* anteriore del tronco che viene percepito da un accelerometro. Per la deambulazione è necessario l'uso di bastoni canadesi. Il peso del dispositivo è di 25 Kg (figura 1).

L'uso di ReWalk è approvato in ambito sanitario in istituti di riabilitazione per pazienti affetti da paraplegia causata da lesione midollare a livello di D4.

È l'unico esoscheletro incluso nei dispositivi medici rimborsabili dall'INAIL.

#### HAL-5

È un robot sviluppato dall'Università giapponese di Tsukuba e dall'azienda Cyberdyne: è progettato

## LESIONE MIDOLLARE

**È** una lesione traumatica e non traumatica del midollo spinale cervicale, dorsale o lombare che determina quadri clinici definiti come tetraplegia e paraplegia. Il deficit che ne deriva può essere completo, sia motorio sia sensitivo, o incompleto. Il livello della lesione è, per definizione, la zona più caudale in cui la sensibilità e il movimento risultano normali. Le lesioni midollari sono per il 70% di natura traumatica, dovute per esempio a schiacciamento del corpo vertebrale, a fratture dei massicci articolari o degli archi posteriori o a lussazioni o fratture-lussazioni che riducono il canale, comprimendo o lacerando il midollo; la restante percentuale di lesioni del midollo è di origine non traumatica, la cui eziologia può essere vascolare, infettiva, neurologica, neoplastica o degenerativa.

to per aumentare le capacità motorie di persone normodotate durante attività lavorative oppure di persone affette da patologie neurologiche.

È in grado di aiutare l'operatore a sollevare circa cinque volte più del peso che riuscirebbe normalmente a sollevare senza l'esoscheletro. Dal 2011, HAL è stato usato in 130 differenti ospedali in



**Figura 2** Ekso-GT: dotato di *variable assist*, in modalità *adaptive* permette ai pazienti di collaborare con il robot.

Giappone e nel 2012 ha ottenuto il certificato sulla sicurezza. L'esoscheletro viene noleggiato, attualmente, solo in Giappone, offrendo una grande possibilità ai pazienti affetti da mielolesione.

### Ekso-GT

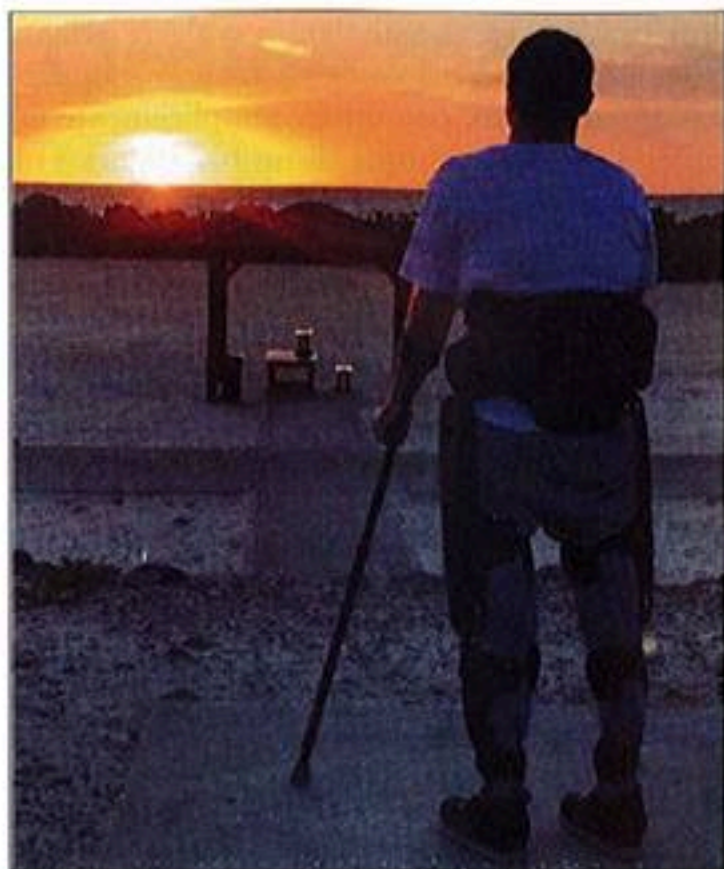
È attualmente l'unico dispositivo ad avere la certificazione FDA per l'utilizzo clinico anche con pazienti affetti da esiti di stroke. Questo esoscheletro è uno strumento riabilitativo a tutti gli effetti. La caratteristica che lo differenzia dagli altri è il cosiddetto *variable assist*, cioè la capacità, utilizzandolo nella modalità *adaptive*, di permettere ai pazienti, che hanno attività motorie residue, di contribuire alla *torque* dei motori. Ekso percepisce la forza residua dell'arto e la compensa dinamicamente (figura 2). Sotto controllo clinico, può essere utilizzato anche con pazienti più gravi, affetti da lesione midollare completa o incompleta a partire dal livello di C7 (settima vertebra cervicale), emiparesi in postumi di stroke, sclerosi multipla, *brain injury*, malattia di Parkinson, polineuropatie periferiche come la Guillan Barré.

Progettato e realizzato nel 2011, l'esoscheletro Ekso-GT è l'unico dispositivo certificato per l'utilizzo con pazienti affetti da esiti di stroke: può essere utilizzato solo in ambito riabilitativo. Rispetto ad altri *device*, per quanto riguarda i pazienti con attività motorie residue, è in grado di percepire la forza residua dell'arto e compensarla in maniera dinamica. Non può essere utilizzato al di fuori di un setting clinico. Contrariamente agli altri esoscheletri, per avviare la deambulazione il paziente deve effettuare uno *shift* laterale del suo peso (non anteriore) e questo rende la deambulazione più fisiologica rispetto agli altri *device*.

### Indego

Questo esoscheletro, prodotto da Parker, ha ottenuto l'autorizzazione FDA per l'uso sia personale sia in ambito sanitario. Presenta sostanziali differenze con gli altri robot.

Innanzitutto ha un peso decisamente inferiore (soli 12,5 Kg); inoltre è l'unico ad avere una struttura modulare, cioè costituita da cinque parti (pelvi, coscia e gamba; figura 3). Due interessanti caratteristiche lo rendono un prezioso strumento di riabilitazione: la possibilità, durante la deambulazione, di utilizzare un'elettrostimolazione funzionale (FES) sui muscoli paretici, per migliorare la forza, il tono e il trofismo; altra ca-



**Figura 3** Indego: esoscheletro motorizzato (cinque componenti) dotato di *variable assist*.

ratteristica importante per l'uso con pazienti che presentano una lesione midollare incompleta e quote motorie residue sotto-lesionali, è il *variable assist*, cioè un'assistenza variabile alla deambulazione. Mentre tutti gli altri dispositivi supportano pazienti con un peso massimo di 100 Kg, Indego può essere usato anche da persone che pesano fino a 125 Kg. Anche in questo caso, è possibile avviare il passo con un *tilt* anteriore di tronco. L'uso di questo robot è molto semplice, anche grazie a un'applicazione dedicata.

### CONTROINDICAZIONI

Non tutti i pazienti affetti da esiti di mielolesione sono candidabili all'uso dell'esoscheletro: esistono infatti controindicazioni (tabella 1).

### BENEFICI FISICI E PSICOLOGICI

I vantaggi relativi all'utilizzo dei robot sono molteplici. Dal punto di vista strettamente motorio, per i pazienti con lesione incompleta (*American Spinal Injury Association Impairment Scale, ASIA: C-D*), l'uso del robot è un intenso training deambulatorio e del passo. Il suo utilizzo migliora l'equilibrio, l'andatura, la velocità del cammino e la forza muscolare.

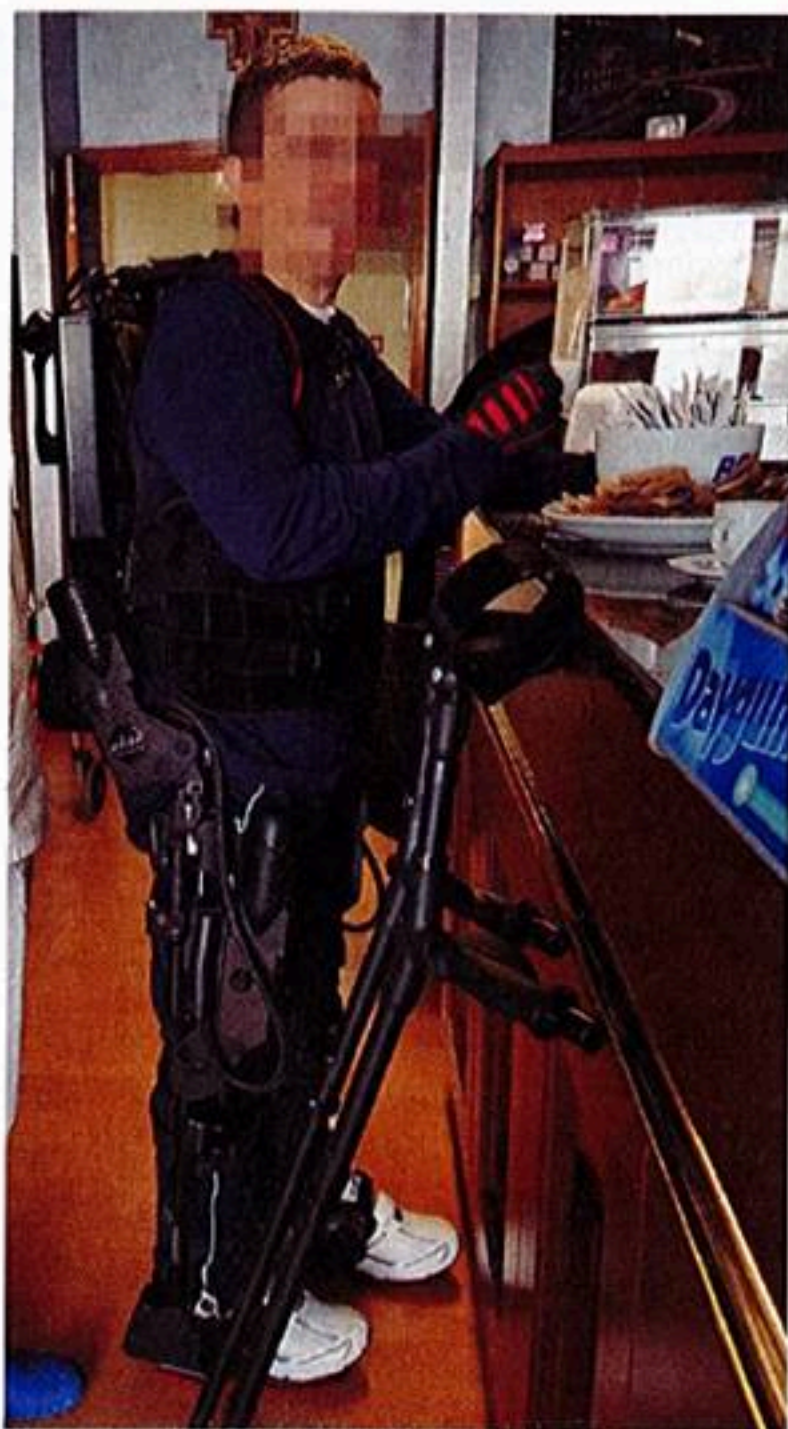
Nei pazienti con lesione completa (*ASIA: A-B*), i vantaggi riguardano il potenziamento della fun-

### Tabella 1 Esoscheletro indossabile: controindicazioni

- Deficit agli arti superiori che limitino l'abilità a bilanciarsi con un deambulatore o canadesi
- Diminuzione alla tolleranza alla posizione eretta (ipotensione ortostatica)
- Osteoporosi significativa (rischio di fratture stando in piedi o deambulando)
- Irritazione cutanea al contatto con le parti del dispositivo
- Colostomia
- Range di movimenti (ROM) limitato che impedirebbe al paziente di raggiungere una deambulazione corretta, di alzarsi in piedi o sedersi
- Instabilità spinale
- Trombosi venosa non risolta (DVT)
- Spasticità non controllata (scala Ashworth modificata >3)
- Disreflessia autonoma non controllata (AD)
- Problemi cognitivi
- Gravidanza

zione cardiorespiratoria e il contenimento dell'ipotensione ortostatica, vescicale e intestinale con il miglioramento della funzione intestinale, la riduzione della spasticità, la prevenzione delle retrazioni muscolo-tendinee, delle fratture da osteoporosi e delle calcificazioni (para-osteo-artropatia neurogena, POAN) e il contenimento del dolore neuropatico. Inoltre, questo "allenamento" del sistema nervoso vegetativo riduce anche la possibilità di sviluppare ulcere da pressione. Deambulare con un robot almeno tre-quattro volte a settimana per circa 45 minuti riduce sensibilmente l'assunzione di farmaci (per esempio antispastici, antidolorifici, procinetici eccetera) che spesso il paziente in carrozzina è costretto ad assumere.

Studi recenti<sup>4-5</sup> hanno dimostrato l'efficacia e la fattibilità dell'uso dei robot con pazienti affetti da esiti di mielolesione e, soprattutto, la modificabilità dei pattern di deambulazione dopo un *training* di venti sedute, al termine delle quali i pazienti registravano un significativo miglioramento nei test funzionali (TUG, 6MWT e 10MWT) e nei parametri spazio-temporali e cinematici in analisi del movimento. L'uso sicuro, l'adattamento del paziente rispetto alle caratteristiche del *device* e il miglioramento delle prestazioni nel tempo fanno presupporre che questi dispositivi possano essere utilizzati sempre più in piena autonomia al domicilio, nelle attività della vita quotidiana.



**Figura 4** L'indipendenza passa attraverso gesti comuni, come anche consumare semplicemente un caffè in piedi al bancone di un bar.

I pazienti che possono usufruire di esoscheletri robotizzati sperimentano significativi vantaggi anche psicologici e importanti ripercussioni sullo svolgimento delle attività di vita quotidiana. Tra i benefici psicologici vi sono la possibilità di superare alcune delle sfide pratiche connesse all'uso di una sedia a rotelle, l'aumento del tempo di esercizio fisico con relativi benefici, la possibilità di colloquiare con le persone guardandole negli occhi e, quindi, poter conversare in modo più diretto,

così come poter deambulare e svolgere attività della vita quotidiana come cucinare, raggiungere oggetti in alto, consumare semplicemente un caffè in piedi al bancone di un bar (figura 4) e migliorare l'indipendenza del soggetto.

Inoltre moltissimi pazienti hanno utilizzato questi esoscheletri per poter presiedere in piedi a eventi importanti della propria vita, come la discussione della tesi di laurea o la celebrazione del matrimonio. Alcuni giovani pazienti che hanno percorso decine di chilometri e deambolato per quasi nove ore durante eventi sportivi come le maratone grazie all'esoscheletro. Questi robot sono sempre più parte della vita dei nostri pazienti e vengono considerati strumenti tecnologici affidabili che forniscono l'opportunità di godere della vita stando in piedi e camminando anche per alcune ore.



## BIBLIOGRAFIA

1. KAWAMOTO H, SANKAI Y. Power assist method based on Phase Sequence and muscle force condition for HAL. *Adv Robot* 2005; 19(7): 717-34.
2. DOLLAR AM, HERR H. Lower extremity exoskeletons and active orthoses: challenges and state-of-the-art. *IEEE Trans Robot* 2008; 24(1): 144-58.
3. BRYCE TN, DIJKERS MP, KOZLOWSKI AJ. Framework for assessment of the usability of lower-extremity robotic exoskeletal orthoses. *Am J Phys Med Rehabil* 2015; 94(11): 1000-14.
4. THOMAS 2015 review
5. SALE P, RUSSO EF, RUSSO M, ET AL. Effects on mobility training and de-adaptations in subjects with Spinal Cord Injury due to a Wearable Robot: a preliminary report. *BMC Neurol* 2016; 16: 12.
6. SALE P, RUSSO EF, SCARTON A, ET AL. Training for mobility with exoskeleton robot in person with Spinal Cord Injury: a pilot study. *Eur J Phys Rehabil Med* 2018.(Epub ahead of print).