



Scuola Superiore
Sant'Anna

di Studi Universitari e di Perfezionamento



*Advanced Robotics Technology
and Systems Laboratory*

Università di Pisa

Corso di Laurea in Terapia Occupazionale

Corso di Bioingegneria applicata alle protesi

Anno Accademico 2009/2010

Sistemi robotici per la riabilitazione degli arti inferiori

Stefano Mazzoleni, PhD

ARTS Lab, Scuola Superiore Sant'Anna

Alcune limitazioni del trattamento manuale

- Per il terapeuta:
 - Faticoso e stancante
 - Scomodo
- Per il paziente:
 - Limitato nel tempo
 - Schema del passo non ottimale





Il sistema robotico Lokomat

- Studi recenti hanno confermato che un regolare addestramento con l'uso di una pedana mobile può **migliorare le capacità del cammino nei soggetti con lesioni spinali (SCI, Spinal Cord Injuries) incomplete**
- E' stata sviluppata una **ortesi robotica per cammino guidato (DGO, Driven Gait Orthosis)** che può muovere le gambe di un paziente con lesione spinale in modo fisiologico su una pedana mobile, utilizzando un sistema di allevio del peso corporeo (*BWS, Body Weight Support*).





Il sistema robotico Lokomat



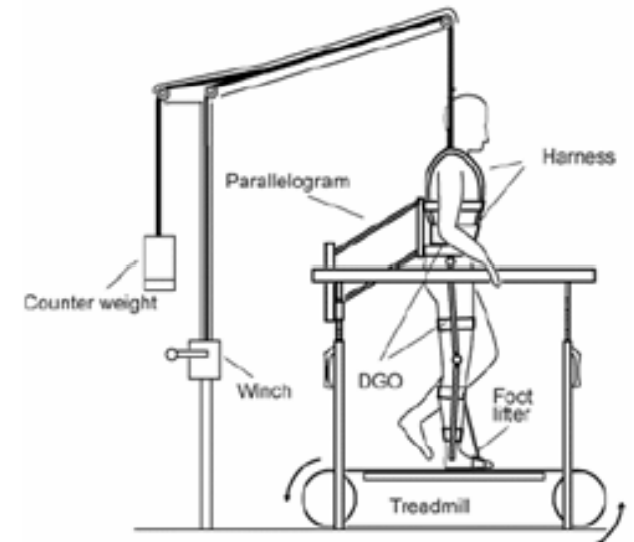
Lokomat, è una macchina di supporto alla locomozione per pazienti con lesioni midollari realizzata e sperimentata presso l'Ospedale Balgrist a Zurigo, Svizzera

Una **ortesi motorizzata** è fissata al segmento superiore e inferiore di ogni gamba e guida il movimento del ginocchio e dell'**anca** e del **ginocchio** nel piano sagittale mentre il paziente cammina su una pedana mobile



Il paziente è sospeso per mezzo di una bardatura controbilanciata.

Un meccanismo a forma di parallelogramma con una molla a gas sostiene il peso dell'ortesi per un cammino guidato (*DGO*)





Lokomat

Hocoma AG, Switzerland



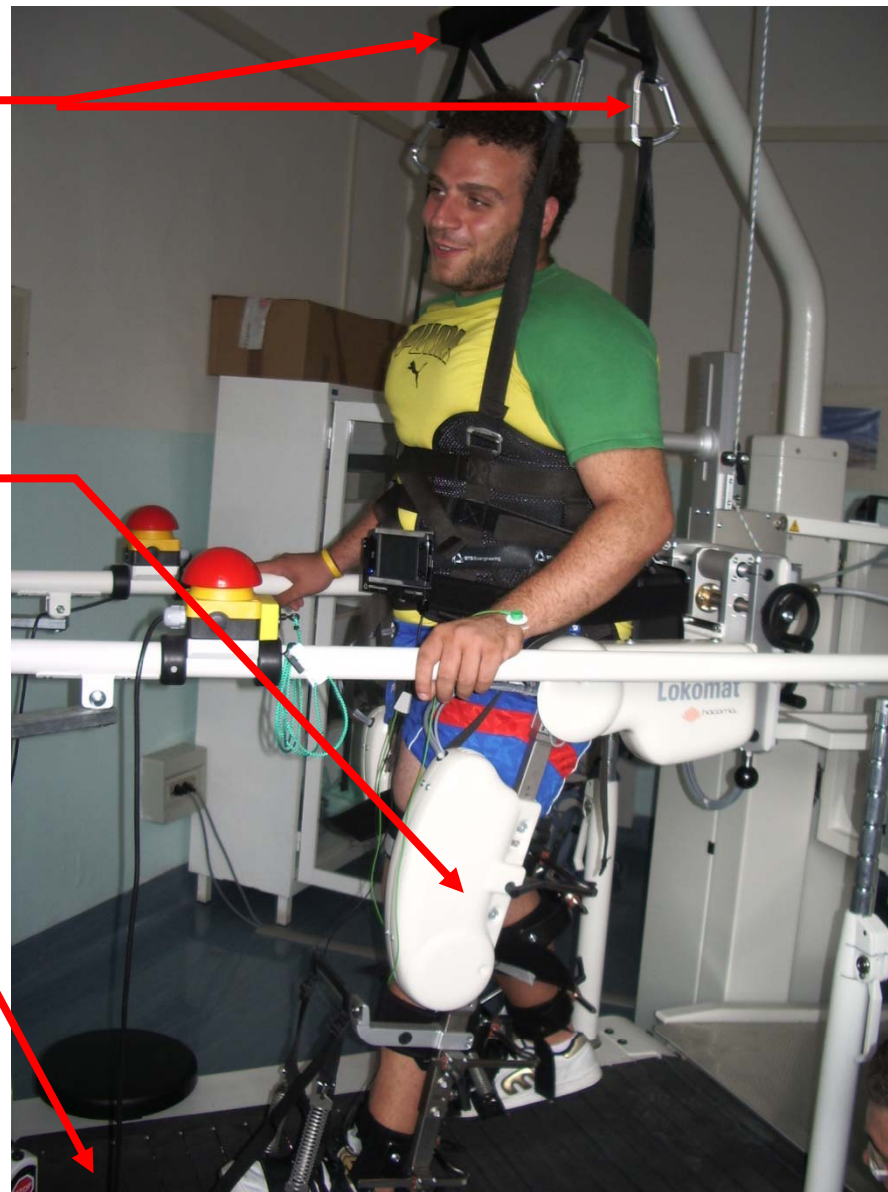


Il sistema robotico Lokomat

**Sistema di
allevio del peso
(BWS)**

Ortesi robotica

**Tappeto rotante
(treadmill)**

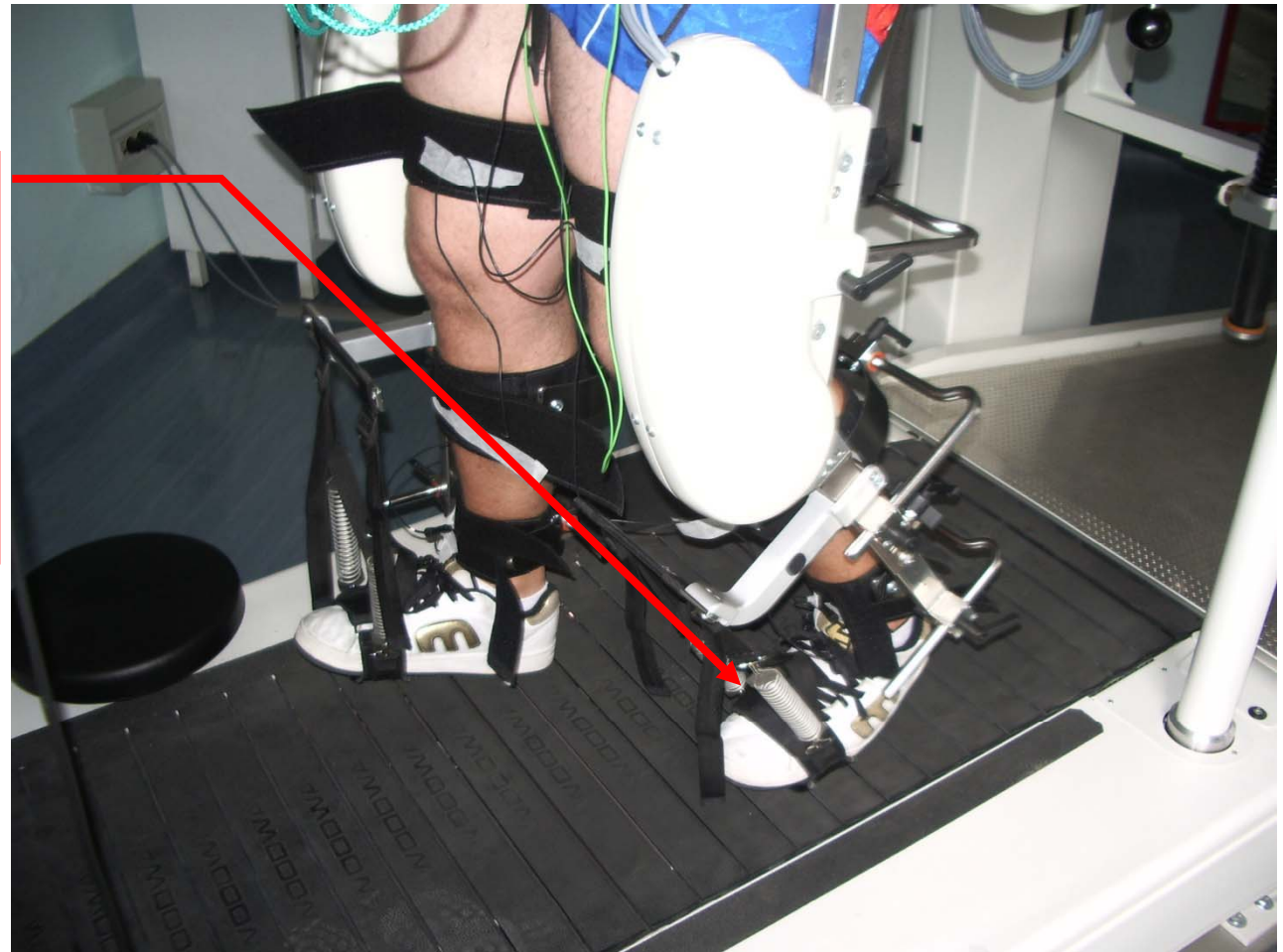






Il sistema robotico Lokomat

**Sistema di
supporto
dell'articolazione
di caviglia**

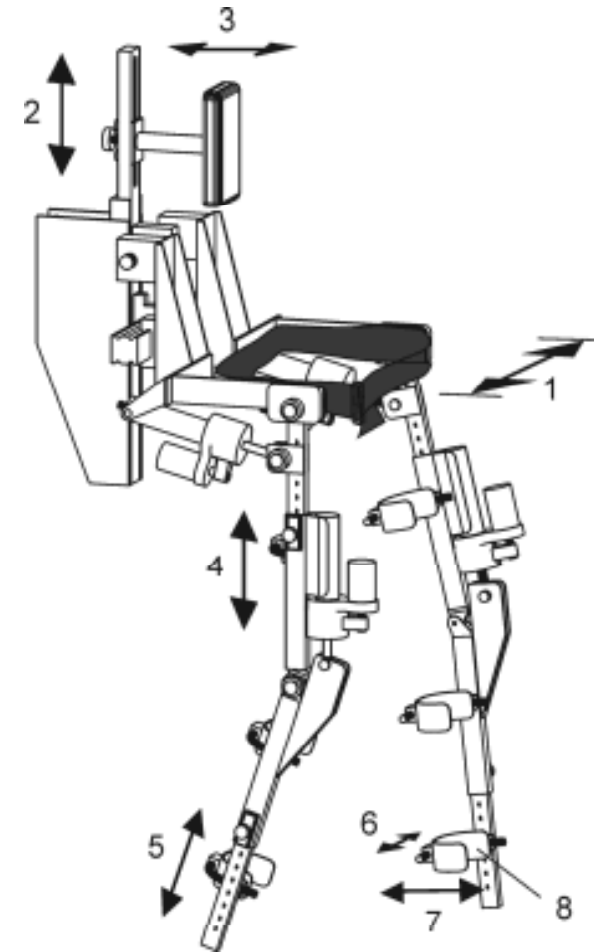




Il sistema robotico Lokomat

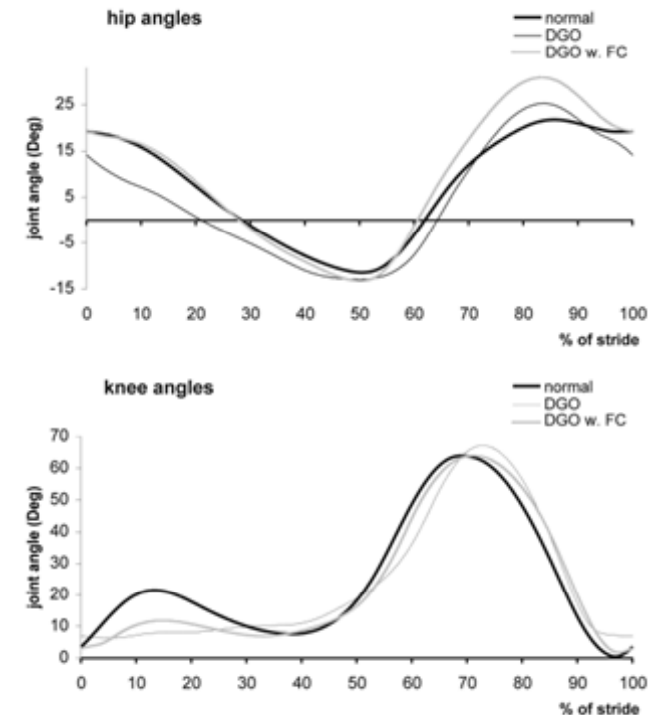
- **Adattabile** all'anatomia di ogni soggetto
- **Parametri variabili** per permettere una personalizzazione ottimale dell'ortesi allo specifico paziente:

1: larghezza dell'anca, 2: posizione verticale del supporto per la schiena, 3: posizione orizzontale del supporto per la schiena, 4: lunghezza della coscia, 5: lunghezza della tibia, 6: posizione mediano-laterale del sostegno della gamba, 7: posizione anteriore-posteriore del sostegno della gamba, 8: misura del sostegno della gamba



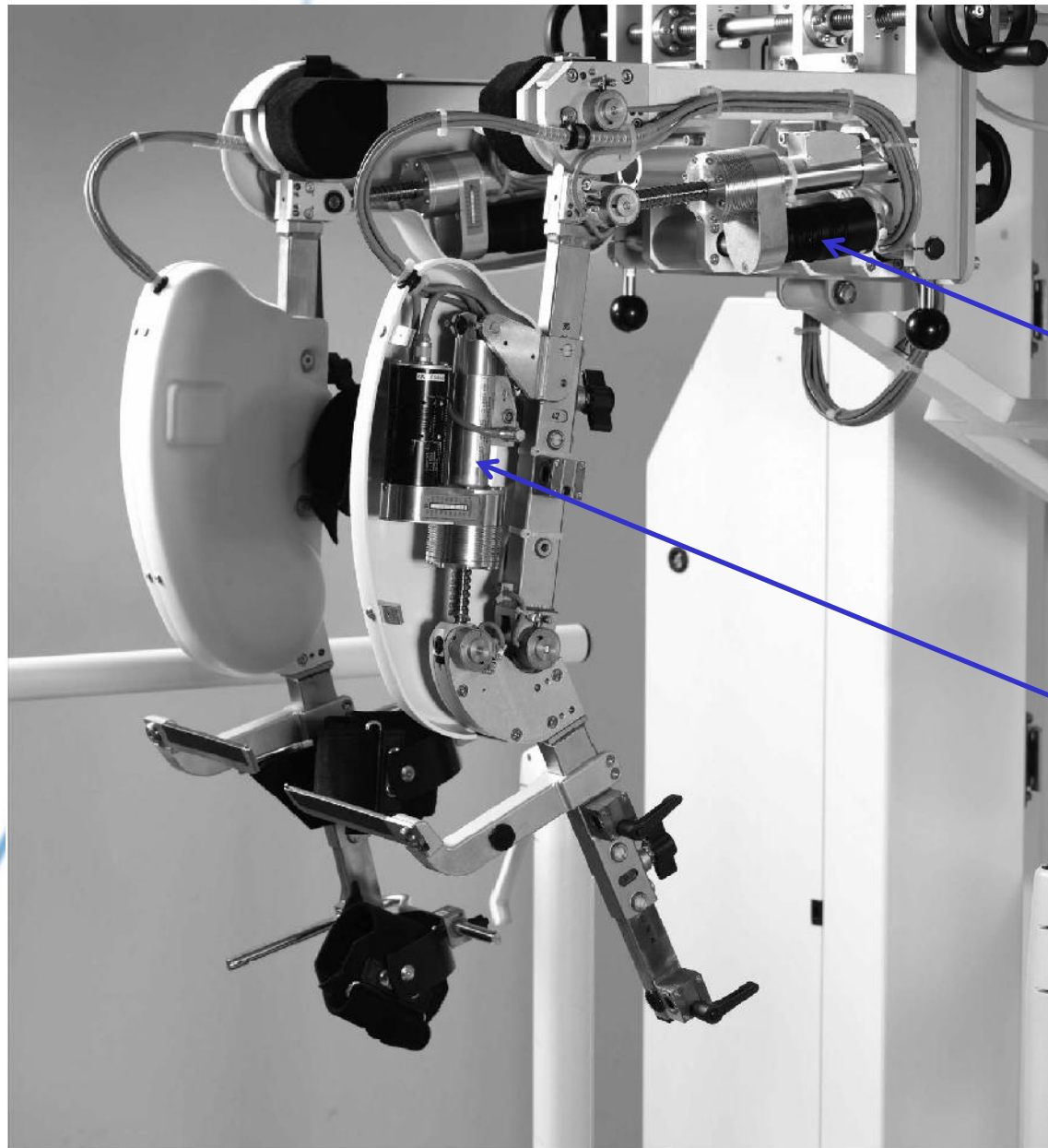
Il sistema robotico Lokomat

- Le traiettorie degli **angoli dell'anca e del ginocchio** in soggetti sani in tre condizioni differenti mostrano un andamento simile: questo permette di avere un modello standard da utilizzare per addestrare i pazienti
- I risultati delle sperimentazioni cliniche sono incoraggianti
- I **vantaggi principali** del nuovo tipo di addestramento sono:
 - sessione prolungata
 - supporto al cammino
 - feedback all'utente
 - Valutazione quantitativa delle prestazioni motorie del paziente





Attuatori



Articolazione
anca

Articolazione
ginocchio



Attuatori





Sperimentazione clinica



- Collaborazione scientifica tra ARTS Lab, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa e U.O. Neuroriabilitazione, Azienda Ospedaliera Pisana
- Inizio della sperimentazione: Maggio 2007
- N=20 soggetti reclutati: 10 soggetti con lesione midollare incompleta, 10 soggetti normodotati





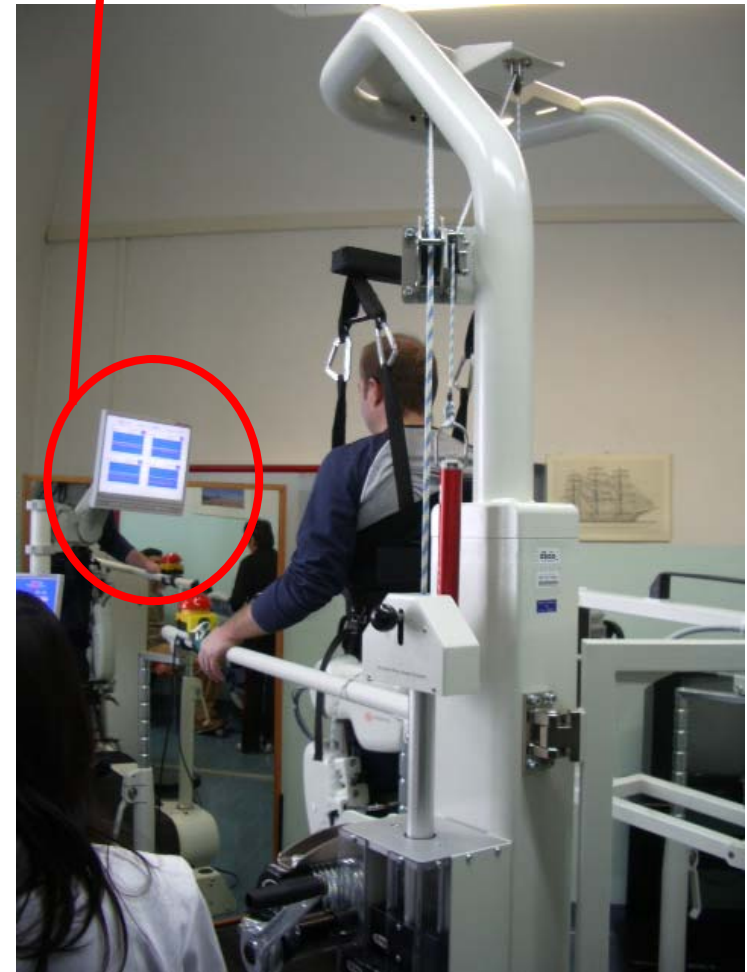
Protocollo clinico



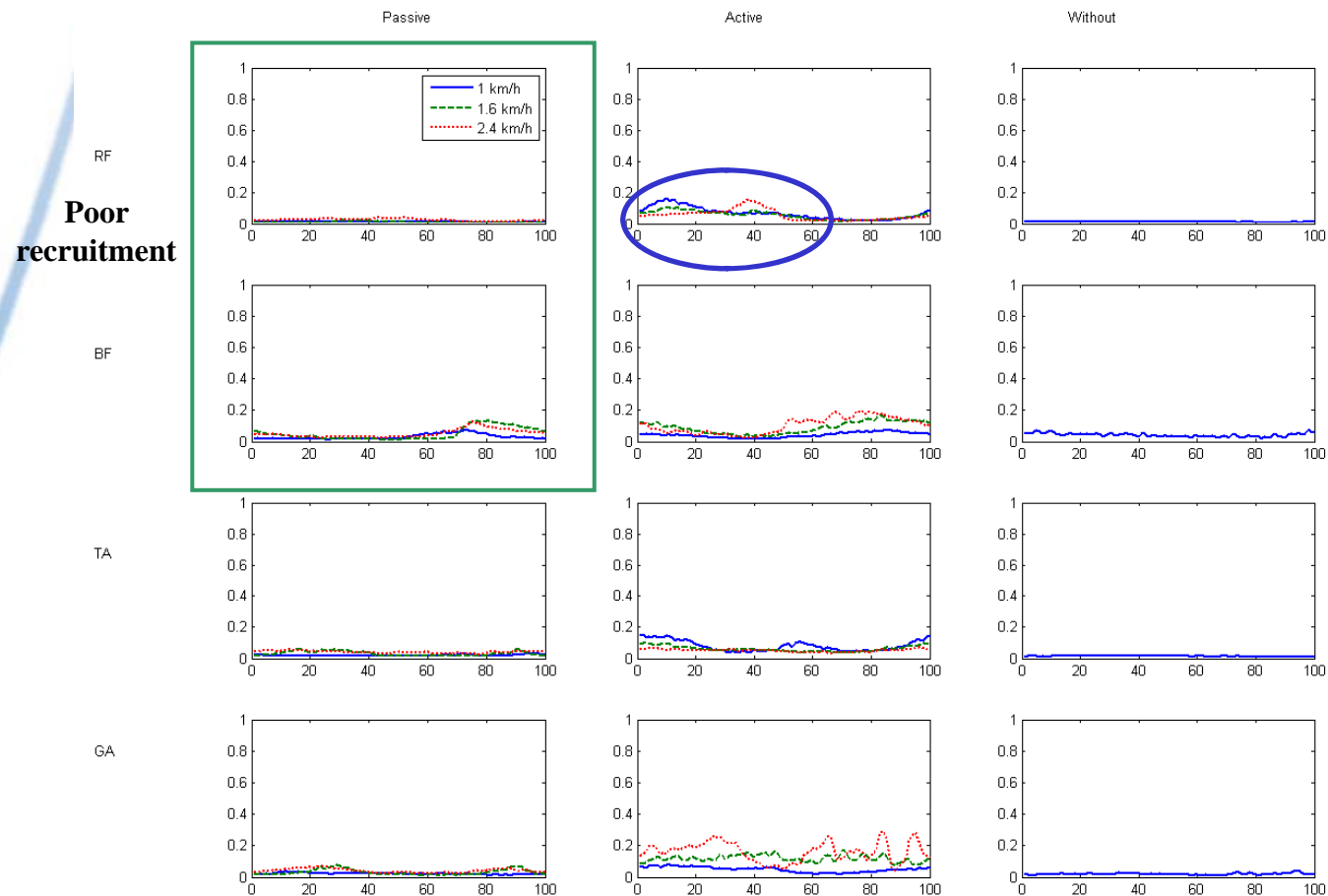
Obiettivi:

- Valutare l'effetto di differenti percentuali di allevio del peso (Body Weight Support, BWS) e velocità del treadmill:
 - Sul **reclutamento muscolare** durante l'addestramento con il Lokomat, in modalità passiva e attiva
 - sulla **spasticità muscolare** sia tonica che fasica (riflesso da stiramento, co-contrazione, clono)
- Analizzare il trasferimento del peso durante il training
- Sviluppare un modello dinamico della locomozione in soggetti patologici (ad es. lesioni midollari)

Feedback per il
paziente

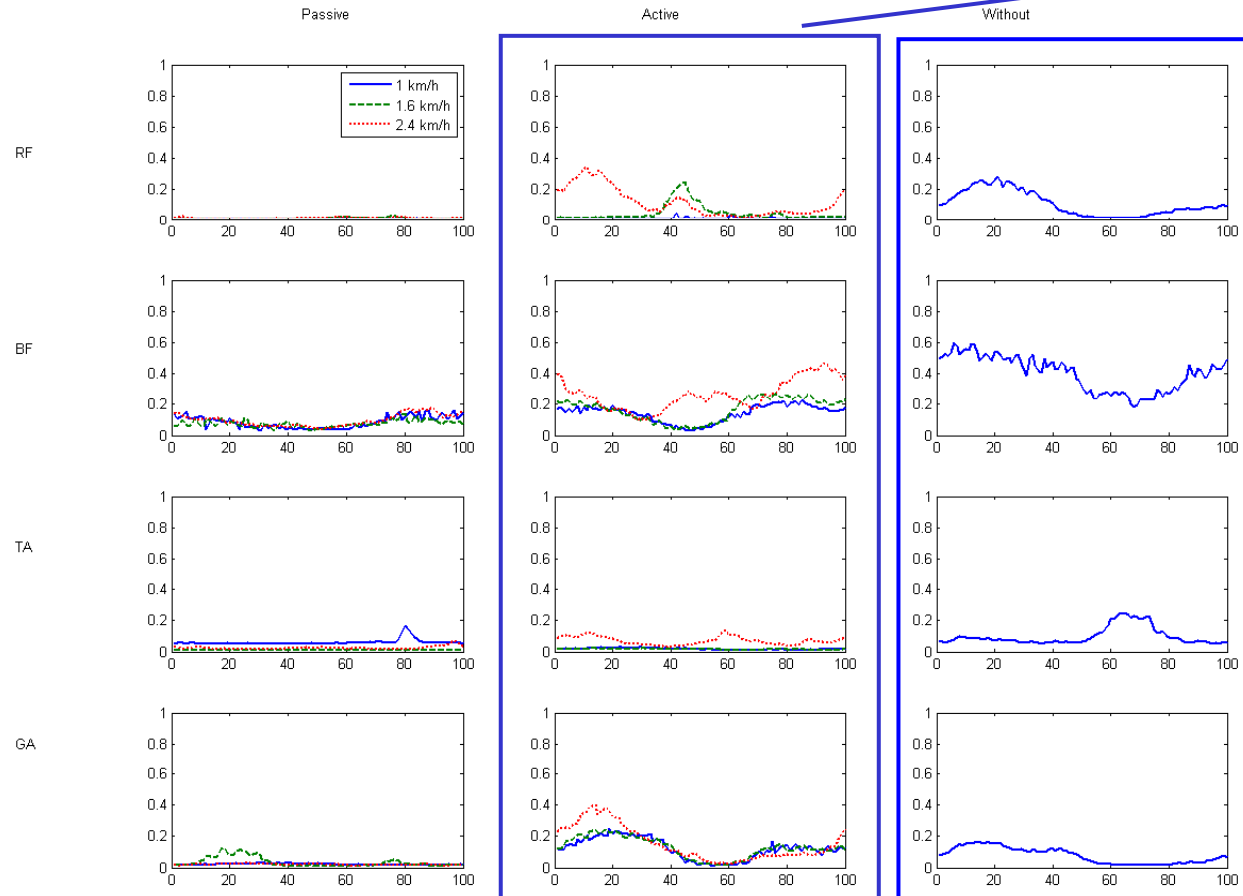


Pre-training averaged normalized rectus femoris (RF), biceps femoris (BF), tibialis anterior (TA) and gastrocnemius (GA) EMG activity from two SCI subjects on the right leg (60% BWS).



Risultati

Post-training averaged normalized rectus femoris (RF), biceps femoris (BF), tibialis anterior (TA) and gastrocnemius (GA) EMG activity from two SCI subjects on the left leg (60% BWS).



Increased
recruitment

Able to
perform
unassisted
treadmill
exercise at
the lowest
speed



- **Registrazione EEG**
- **Terapia robotica**
- **Registrazione EMG di superficie**



EMG wireless

Muscoli:

- Rectus femoris
- Biceps femoris
- Tibialis anterioris
- Gastrocnemius medialis

Registrazione EEG 64 canali

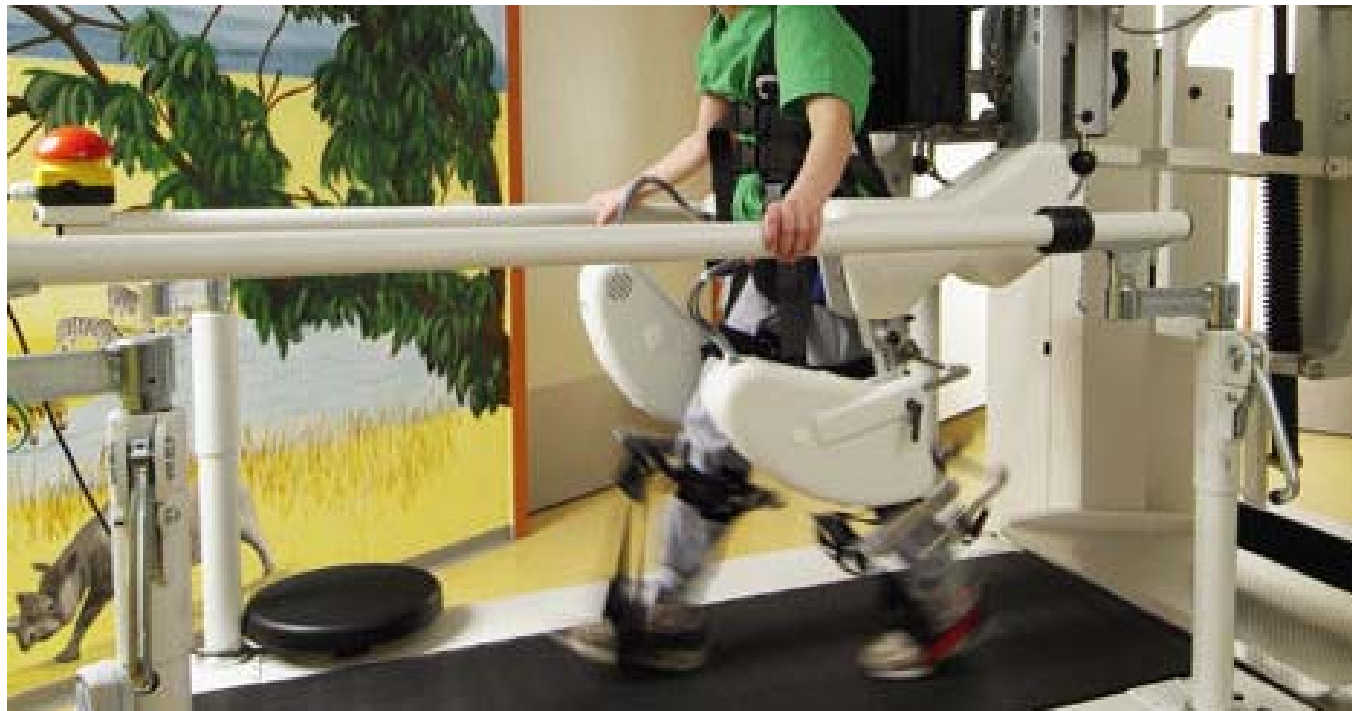


Lokomat system (Hocoma AG, Switzerland)



**Sistema robotico Lokomat (Hocoma AG,
Switzerland) con sistema di Realtà Virtuale**

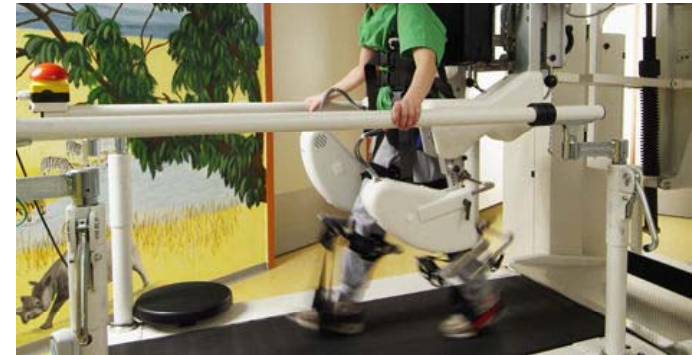
Modulo pediatrico Lokomat



Set di esoscheletri intercambiabili progettati per bambini con lunghezza femorale (trocantere-cavità del ginocchio) comprese tra 210 e 350 mm.

Modulo pediatrico Lokomat

Recenti risultati mostrano che soggetti in età pediatrica con paralisi cerebrale ricevono un beneficio in termini di **miglioramento dei parametri del cammino**, grazie all'esercizio riabilitativo effettuato mediante un sistema robotico che assiste i movimenti degli arti inferiori.



Lo stesso dispositivo robotico è stato utilizzato in un programma riabilitativo in combinazione con un sistema di **Realtà Virtuale**. I piccoli pazienti hanno evidenziato un feedback positivo per tale approccio riabilitativo, in termini di motivazione e coinvolgimento.

Meyer-Heim et al., *Arch Dis Child* 2009; 94: 615-620.

Borggraefe et al., *Eur J Phys Rehabil Med* 2010 (in press).

Koenig et al., *Stud Health Technol Inform* 2008; 132: 204-9.

Sistemi robotici per neuroriabilitazione in età pediatrica

- L'introduzione dei sistemi robotici nella riabilitazione di patologie di origine neurologica in età pediatrica può contribuire al **recupero della funzione motoria** (Borggraefe et al., *Mov Disord* 2008;23(2):280-3; Meyer-Heim et al., *Dev Med Child Neurol* 2007;49(12):900-6; Frascairelli et al., *Eur J Phys Rehabil Med* 2009;45(1):135-41).
- Risultati preliminari incoraggianti sulla percezione da parte dei pazienti stessi relativa al **recupero dell'uso funzionale** una volta tornati a casa (Fasoli et al., *Am J Rehab* 2008;87(11):929-936).

Riabilitazione arti inferiori: Gait Trainer



Gait Trainer I



Gait Trainer II

- Lunghezza del passo (34 - 48 cm) e velocità cammino (0 - 2 m/s) regolabili
- fino a 8 canali programmabili per Stimolazione Elettrica Funzionale
- biofeedback
- trial clinici con pazienti post-ictus in fase sub-acuta

Hesse S et al., *Arch Phys Med Rehabil.* 2000

II sistema Gait Trainer



Gait Trainer I

Clinical experiences showed:

- Locomotor therapy of **acute stroke patients** (n=30) on the Gait Trainer GT I was superior to treadmill training with BWS and required less assistance;
- Locomotor therapy of **acute stroke patients** (n=155) on the Gait Trainer GT I + physiotherapy was superior to physiotherapy regarding gait-ability and ADLs, treatment duration was identical in both groups (DEGAS trials);
- also CP-children, paraparetic subjects, TBI, MS, Parkinson patients, and patients with either hip or knee joint replacement could benefit from robotic therapy.

II sistema Gait Trainer

Ricerca clinica

Pohl et al., "Repetitive locomotor training and physiotherapy improve walking and basic activities of living after stroke: a single-blind, randomised multicentre trial", *Clin Rehabil*, 2007;21:17-27.

Tong et al., "Effectiveness of gait training using an electromechanical gait trainer, with and without Functional Electrical Stimulation, in subacute stroke: a randomized controlled trial", *Arch Phys med Rehabil*, 2006;87:1298-304.

Werner et al, "Lokomotionstherapie des akuten Schlaganfallpatienten: Ergebnisse der multizentrischen Deutschen Gangtrainer Studie (DEGAS)", *Neurol Rehabil*, 2006;12:262-69.

Peurala et al. "The effectiveness of body weight-supported gait training and floor walking in patients with chronic stroke", *Arch Phys Med Rehabil*, 2005; 86:1557-1564.

II sistema Gait Trainer

Ricerca clinica

Hesse et al., "A mechanized gait trainer for restoration of gait", J Rehab Res Develop, 2000; 37:701-8.

Hesse et al., "An electromechanical gait trainer for restoration of gait in hemiparetic stroke patients: preliminary results", Neurorehabil Neural Repair, 2001; 15:39-50.

Werner et al., "Treadmill training with partial body weight support and an electromechanical gait trainer for restoration of gait in subacute stroke patients: a randomized crossover study", Stroke, 2002; 33:2895-2901.

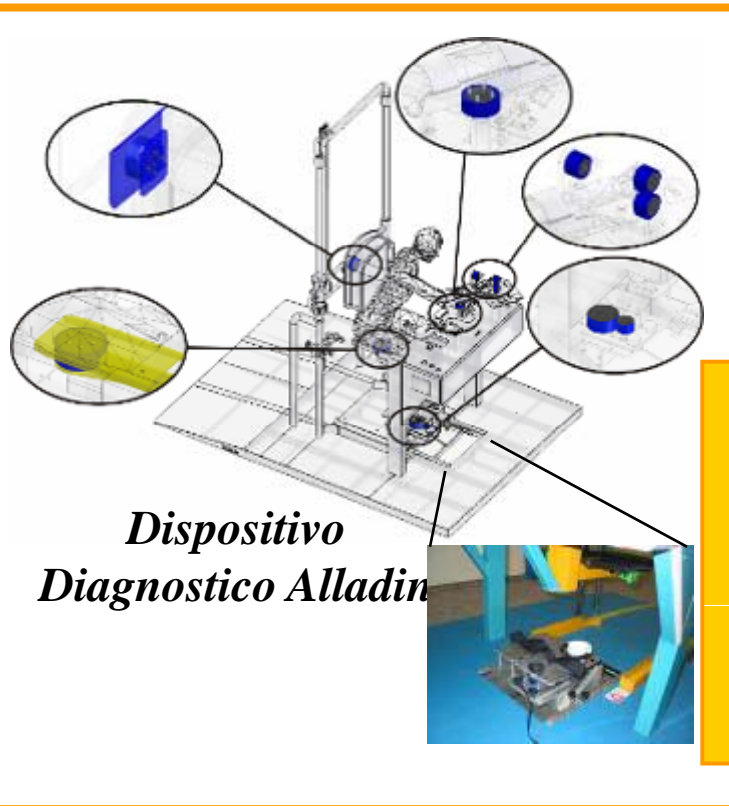
Hesse et al., "Electromechanical gait training with functional electrical stimulation: case studies in spinal cord injury", Spinal Cord, 2004; 42:346-352.

I sistemi robotici per la riabilitazione...

- ❑ Possono essere utilizzati per somministrare **trattamenti intensivi e prolungati**, da affiancare ai trattamenti tradizionali
- ❑ **Vantaggi della terapia robotica:**
 - **miglioramento delle prestazioni motorie** dell'arto superiore e miglior reclutamento muscolare negli arti inferiori, riduzione del dolore alla spalla, accettazione da parte dei pazienti, rapporto cost/efficacia promettente
 - Somministrazione in pazienti cronici per il mantenimento del **recupero funzionale** ottenuta durante la fase acuta e sub-acuta
 - possibilità di modificare il tipo di addestramento (scenario "fan-like"), per adattare il trattamento alle differenti classi di pazienti (in base alla patologia e alla gravità del danno)
 - forniscono **misure quantitative** per la valutazione funzionale, mediante la registrazione di variabili biomeccaniche
- ❑ Contribuiscono ad una **migliore comprensione dei meccanismi fisiopatologici relativi al processo di recupero motorio** a seguito di un danno neurologico

Robotica per la neuro-riabilitazione: uno scenario integrato

Valutazione funzionale



**Tecniche di
brain
imaging
(EEG, fMRI,
MEG, TMS,
NIRS)**

Terapia robotica

Riabilitazione arti superiori



MIT-Manus



MEMOS

Riabilitazione arti superiori



Lokomat