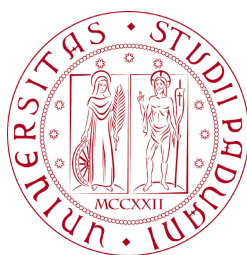


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

—
DIPARTIMENTO DI INNOVAZIONE MECCANICA E GESTIONALE
—

TESI DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA BIOMEDICA

PROBLEMATICHE NELLA
RIABILITAZIONE DELLA MANO DI
PAZIENTI EMIPLEGICI

RELATORE: CH.MO PROF. ING. ALDO ROSSI

CORRELATORE: CH.MO PROF. ING. GIULIO ROSATI

LAUREANDO: ANNA TURCO

ANNO ACCADEMICO 2009-2010

“ Ogni impedimento è giovamento ”

DETTO POPOLARE SICILIANO

Indice

Sommario	XI
Introduzione	XIII
1 L'ictus	1
1.1 Panoramica e incidenza della patologia	1
1.2 Ictus e emiplegia	2
1.3 Valutazione della disabilità e progetto riabilitativo	4
2 La mano	9
2.1 Anatomia e funzionalità della mano	9
2.2 I movimenti complessi della mano	17
2.2.1 Classificazione delle prese	17
2.2.2 Specifiche in termini di forza della mano	21
2.2.3 Range di mobilità dei giunti articolari della mano	24
2.3 Fenomeni tipici nell'arto superiore emiplegico	29
3 La riabilitazione della mano	33
3.1 Riabilitazione fisioterapica post-ictus	35
3.1.1 La letteratura: scuole di pensiero nella riabilitazione	38
3.2 La pratica riabilitativa: osservazione diretta di casi clinici	43
3.3 La riabilitazione robotica della mano	60
3.3.1 Robot per la mano	60
3.3.2 Robot per le dita	67
4 Validazione clinica	77

Conclusioni	89
Bibliografia	91
A Primo Capitolo Appendice	99
A.1 Prima sezione	99

Sommario

La tesina si occupa di studiare brevemente l'anatomia della mano e le sue proprietà, sia nel soggetto normale che in quello emiplegico; di individuare i problemi e le difficoltà che si incontrano nella pratica riabilitativa odierna; di analizzare quali sono i risultati robotici ad oggi conseguiti nell'ambito. Il tutto punta sia ad evidenziare possibili ostacoli e limiti della fisioterapia hand-to-hand, sia a studiare utilità e fattibilità di un'ortesi attiva a scopi riabilitativi.

Introduzione

Nella sua forma e struttura, la mano è molto più che un semplice meccanismo prensile. Essendo infatti uno strumento altamente sviluppato ed estremamente adattabile, l'essere umano la utilizza anche per prendersi cura del proprio corpo e per interagire con l'ambiente che lo circonda. È inoltre un organo di senso molto preciso ed affidabile. Infatti, secondo le moderne teorie, il raggiungimento della stazione eretta dell'uomo ha progressivamente liberato la mano da un compito di mero aiuto alla locomozione, per renderla invece in grado di movimenti fini, molto più precisi, variegati e complessi. Questa evoluzione è avvenuta parallelamente allo sviluppo delle strutture cerebrali associate. I movimenti della mano sono difatti controllati da molte e vaste regioni cerebrali: il movimento delle singole componenti è soggetto al controllo corticale, mentre è l'area subcorticale quella che regola il movimento coordinato di interi gruppi muscolari.

Una delle patologie più diffuse nel mondo occidentale è l'ictus o infarto cerebrale, a causa del quale il soggetto colpito può subire menomazioni più o meno gravi, che vanno dalla perdita della parola all'incapacità, più o meno marcata, di movimento. Vista la notevole importanza che ricopre la mano in tutti gli aspetti della nostra vita, è facile capire come una patologia come questa, che vada ad inficiare il quotidiano uso della mano stessa, possa essere di incredibile impatto, sia dal punto di vista psicologico che per quanto riguarda l'indipendenza e la capacità dell'individuo di vivere in società. È proprio per questo motivo che da più di due secoli esistono "centri ginnici per la riabilitazione", evolutisi nel corso del tempo in ospedali, cliniche o case di cura specializzati. Nonostante gli enormi progressi compiuti nell'ambito, a causa della crescente diffusione di patologie invalidanti come l'ictus, molto spesso ci si trova di fronte a situazioni in cui carenza

di fondi, tempo e personale qualificato impediscono un corretto percorso riabilitativo a tutti i malati. Per questo motivo, negli ultimi decenni hanno cominciato ad essere sviluppati macchinari e dispositivi robotici di diversa natura, con lo scopo di affiancarsi alla fisioterapia tradizionale in questo lungo processo.

In questa tesi si cerca di toccare i diversi punti cui si è brevemente qui sopra accennato. In particolare: il primo capitolo propone una panoramica dell'ictus e della sua principale conseguenza, ovvero la disabilità motoria, schematizzando le fasi del processo riabilitativo. Il Capitolo 2 analizza la mano in tutti i suoi aspetti (anatomico, funzionale, dinamico), introducendo i principali fenomeni patologici riscontrabili nell'arto plegico. Il Capitolo 3 mette a confronto la fisioterapia manuale con quella robotica, evidenziando vantaggi e svantaggi di ciascuna; analizza poi in dettaglio le attività e gli esercizi proposti dalla fisioterapia tradizionale e propone una panoramica sullo stato dell'arte in campo di dispositivi robotici per la riabilitazione di polso e dita. Il Capitolo 4, infine, raccoglie le scale di valutazione del grado di disabilità più note ed utilizzate in campo riabilitativo, con particolare attenzione a quelle specifiche per la mano.

Capitolo 1

L'ictus

1.1 Panoramica e incidenza della patologia

L'ictus (stroke, in inglese) è una sindrome clinica caratterizzata da perdita acuta di funzioni cerebrali focali, con sintomi di durata superiore alle 24 ore o portanti a morte, determinata da spontanea emorragia nel tessuto cerebrale (ictus *emorragico*) o da inadeguato apporto sanguigno ad una parte del cervello stesso, come conseguenza di un ridotto flusso sanguigno, trombosi o embolie (ictus *ischemico*).

È una delle principali cause di morte negli Stati Uniti: secondo le ultime ricerche[1], ogni anno circa 795 000 persone vanno incontro a tale patologia; sul totale, l'87% degli infarti è ischemico mentre il restante 13% comprende emorragie cerebrali di varia portata. La mortalità dell'infarto dipende da numerosi fattori, primo fra tutti l'età del soggetto coinvolto; nel complesso, l'infarto causa il 17% dei decessi totali negli USA, dato che porta lo stroke al secondo posto tra le cause di morte negli US.

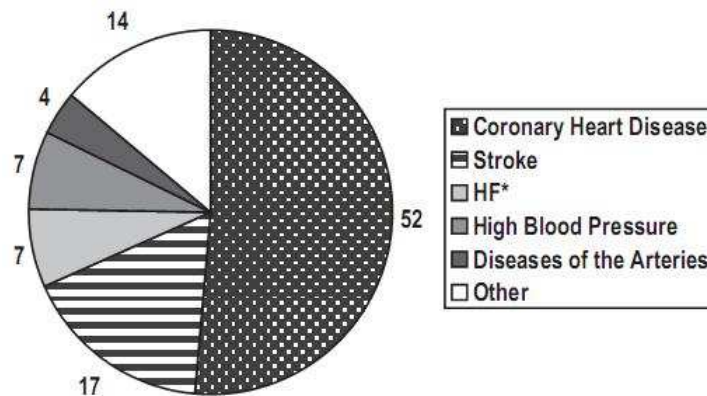


Figura 1.1: Mortalità dello stroke, rispetto al totale dei decessi [1]

Dei soggetti colpiti da ictus, una percentuale tra il 25% e il 55% muore nell'arco di 30 giorni [2]; tra i soggetti sopravvissuti i danni si esprimono nelle maniere più diverse, dal momento che l'ictus può interessare in maniera casuale qualunque area cerebrale. L'evento, però, interessa nella maggior parte dei casi una ben precisa zona dell'emisfero destro o sinistro; per questo, anche le conseguenze dell'infarto cerebrale saranno localizzate nella sola parte sinistra o destra del corpo; tra le principali, si annoverano difficoltà motorie, di linguaggio o di pensiero.

Poiché i costi necessari per il mantenimento di un paziente post-ictus sono elevatissimi, diversi studi sono stati compiuti sia nel campo della prevenzione sia in quello della riabilitazione post-stroke, di modo da minimizzare l'impatto del problema e ridurre i costi per affrontarlo.

1.2 Ictus e emiplegia

L'emiplegia è una sindrome caratterizzata clinicamente da deficit dell'attività motoria volontaria di una metà del corpo, che sopravviene in seguito ad una lesione situata generalmente nell'emisfero cerebrale opposto all'emisoma plegico oppure, sempre controlateralmente, nel tronco encefalico. Quasi mai l'emiplegia si presenta come pura invalidità motoria: ad essa infatti spesso si associano deficit sensitivi di tipo centrale, deficit delle funzioni di relazione (es. perdita della parola) e disturbi dello schema corporeo.

Type	Site of Lesion	Manifestation
Motor or Ideomotor	Often left hemisphere	Can automatically perform a movement but cannot carry it out on command.
Ideational	Often bilateral parietal	Can perform separate movements but cannot coordinate all steps into an integrated sequence.
Constructional	Either parietal lobe, right > left	Unable to synthesize individual spatial elements into a whole (eg, cannot draw a picture).
Verbal	Commonly associated with Broca's aphasia	Mispronunciation with letter substitution, effortful output and impaired melody of speech.
Dressing	Either hemisphere, right > left	Inability to dress oneself despite adequate motor ability.
Gait	Frontal lobes	Difficulty initiating and maintaining a normal walking pattern when sensory and motor functions seem otherwise unimpaired.

Figura 1.2: Possibili aree cerebrali interessate e conseguenze della lesione sulle attività della vita quotidiana [3]

Nel soggetto emiplegico stabilizzato, uno dei segni distintivi tipicamente apprezzabili è quello della spasticità; con questo termine si è soliti intendere l'ipertonìa muscolare di alcuni distretti, ipertonìa che rende ragione dell'atteggiamento tipico del paziente emiplegico: l'arto inferiore è generalmente esteso con piede intraruotato, mentre l'arto superiore ha spalla addotta, con gomito semiflesso, polso in flessione e mano chiusa con il pollice contenuto nelle altre quattro dita (schema "tutta flessione"). Si può dunque dire che l'ipertonìa spastica ha, nella maggior parte dei casi, una distribuzione inversa a quella della motricità volontaria, e che incombe prevalentemente sulla muscolatura a funzione antigravitaria.

Ricordiamo che, comunque, lo stato muscolare nell'emiplegico si modifica dinamicamente nel corso del tempo: dopo la fase flaccida -raramente compare spasticità "severa" fin dall'inizio-, la spasticità si accentua gradatamente nel corso

delle settimane che seguono l'evento ischemico, per poi eventualmente regredire ed attestarsi su un'espressione più discreta. Ovvero, il soggetto post-ictus attraversa di solito nel suo percorso queste fasi:

1. flaccidità, ovvero assenza di tono, mancanza di resistenza al movimento e incapacità di risposta agli stimoli;
2. breve e temporaneo normotono;
3. ipertono (o spasticità), il quale si concretizza, nella maggior parte dei casi, in uno schema di tutta flessione (gomito flesso, polso flesso, dita chiuse a pugno e pollice tenuto chiuso dalle altre dita);
4. ipertono ma con espressione più discreta.

1.3 Valutazione della disabilità e progetto riabilitativo

La riabilitazione, accanto agli interventi farmacologici della fase acuta, si può ritenere la principale forma di intervento per i pazienti che hanno subito un ictus; è finalizzata ad ottenere il recupero della menomazione, l'ottimizzazione delle abilità residue e il miglioramento della partecipazione. Scopo dell'intervento riabilitativo è quello di promuovere da parte del paziente un apprendimento di competenze attraverso il recupero dell'attività neuronale, sfruttando tutti i sistemi funzionali rimasti integri. L'obiettivo è quello di migliorare la qualità della vita attraverso il recupero del miglior livello fisico, cognitivo, psicologico, funzionale e delle relazioni sociali nell'ambito dei bisogni e delle aspirazioni dell'individuo e della sua famiglia. Si sviluppa attraverso 5 linee di intervento[4]:

1. prevenzione, individuazione e trattamento delle malattie associate e delle complicanze legate alla fase acuta
2. sostegno al paziente e a quanti si occupano di lui, finalizzato a sopportare il peso psicologico della malattia e a facilitare l'adattamento

3. prevenzione della disabilità' secondaria, favorendo il recupero delle abilità' compromesse dall'ictus e promuovendo la reintegrazione nella famiglia ma anche, se possibile, nelle attività' lavorative e ricreative

4. miglioramento della qualità' della vita ottimizzando la gestione della disabilità' residua

5. prevenzione delle recidive e delle altre patologie vascolari associate.

La riabilitazione dell'ictus è un processo attivo che inizia fin dall'evento acuto; si articola in 3 stadi, che si succedono cronologicamente:

1. FASE ACUTA (dal momento dell'insorgenza dell'ictus fino a quando le condizioni cliniche e neurologiche del paziente si sono stabilizzate): la coerenza del programma assistenziale rispetto ai molteplici obiettivi motivati dalla condizione clinica è più rilevante dello specifico trattamento praticato; vale a dire, in questa fase non si possono realizzare proposte rieducative specifiche, ma si attua un approccio destinato alla prevenzione di danni terziari (anchilosi, retrazioni tendinee...) e di facilitazione del potenziale residuo eventualmente presente.
2. FASE POST-ACUTA (prende avvio quando altri problemi attivi non influenzano, o addirittura pregiudicano, la realizzazione del progetto riabilitativo e dura fino allo stabilizzarsi della disabilità): può comportare l'intervento sia delle strutture ospedaliere sia di quelle extraospedaliere di riabilitazione. Le attività di riabilitazione, in questa fase, possono essere distinte in due tipologie, a seconda che puntino sull'intensità-quantità oppure sulla complessità-qualità di risorse assorbite: l'attività di riabilitazione intensiva è diretta al recupero di disabilità importanti, modificabili, che richiedono un impegno medico specialistico riabilitativo particolarmente elevato per complessità e durata dell'intervento (oltre 3 ore al giorno); le attività di riabilitazione estensiva sono caratterizzate da un moderato impegno terapeutico a fronte di un forte intervento di supporto assistenziale verso i soggetti in trattamento. L'impegno clinico e terapeutico è comunque tale da richiedere una presa in carico complessiva tra 1 e 3 ore giornaliere.

3. FASE CRONICA: il terzo stadio richiede interventi sanitari meno sistematici (in quanto rivolti a una condizione di disabilità stabilizzata) e finalizzati al mantenimento del livello di autonomia raggiunto dal soggetto e alla prevenzione delle possibili ulteriori involuzioni.

E' evidente l'importanza di un'accurata pianificazione delle tempistiche: se nell'immediato (ovvero entro pochissimi giorni dall'evento) un'attività di mobilitazione -ottenuta, per esempio, bloccando l'arto sano e costringendo il movimento di quello immobilizzato- risulterebbe addirittura dannosa, sia per il tessuto neurale sia per il futuro recupero funzionale, è ormai assodato che la riorganizzazione delle aree cerebrali avviene in massima parte entro le prime 4 settimane; per quanto riguarda il recupero del movimento, esso si verifica soprattutto nei primi 3 mesi dall'evento. Le capacità funzionali migliorano ulteriormente, sia pure con minore intensità e rapidità, nei successivi 3 mesi, per poi tendere a stabilizzarsi entro l'arco dell'anno [5].

Disability and Outcome of Stroke Patients in the Copenhagen Stroke Study

Category (BI)	Discharge ¹	Survival (%)	Weeks to 80% Best Recovery ²	Weeks to 95% Best Recovery ²
Very Severe (0-20)	14%	50	11	17 (15-19)
Severe (25-45)	6%	92	15	16 (13.5-18.5)
Moderate (50-70)	8%	97	6	9 (7.5-10.5)
Mild (75-95)	26%	98	2.5	5 (4-6)
No (100)	46%			

¹ Percentage patient distribution on discharge, grouped by stroke severity sub groups, as measured by BI.

² Functional recovery as measured by BI.

Figura 1.3: Tempi di recupero (all' 80% e 95% del risultato ottimale) per pazienti post-stroke, divisi per gravità dell'ictus subìto[5]

Un altro fattore estremamente importante è la finalità della riabilitazione: fino ad alcuni decenni fa, la fisioterapia era finalizzata al recupero motorio in senso lato, anche di movimenti magari poco utili nella vita quotidiana. Nel corso del tempo si è però ritenuto più opportuno ricalibrare gli esercizi proposti e finalizzarli al recupero "funzionale": si tenta cioè di portare il paziente ad eseguire innanzitutto

i movimenti necessari per svolgere le attività quotidiane di base, di modo da garantirgli una maggiore indipendenza nel più breve tempo possibile.

Capitolo 2

La mano

In questo capitolo si focalizza l'attenzione sulla mano: dopo una breve analisi della sua anatomia, verranno introdotti gli schemi motori tipici nel soggetto normale ed emiplegico, oltre che la dinamica del movimento dei componenti che la costituiscono.

2.1 Anatomia e funzionalità della mano

La mano è per l'arto superiore di fondamentale utilità: localizzata alla sua estremità, funziona correttamente solo se i giunti dell'arto sono, allo stesso tempo, stabili e mobili, oltre che orientati in modo che la mano sia sempre sotto il nostro controllo visivo.

In condizioni normali può muoversi in un'area molto ampia, raggiungere facilmente tutte le parti del corpo (grazie anche alla mobilità del giunto della spalla, del gomito e del polso) e operare su piani diversi.

Le mani hanno diverse e importantissime funzioni: esplorare, toccare, percepire, ricevere informazioni dall'ambiente esterno; sono usate nella comunicazione di pensieri e sentimenti; manipolano, sollevano, trasportano, spostano oggetti; infine, insieme alle braccia, hanno un ruolo importante nell'equilibrio e, quando necessario, sono loro che ricercano un supporto nello spazio circostante.

La metà distale della mano è divisa in cinque dita, che si flettono verso il palmo; il pollice ricopre un ruolo unico: inserito lateralmente e in posizione più prossimale

rispetto alle altre dita, ha un range di movimento più ampio e consente diverse operazioni di presa altrimenti impossibili.



Figura 2.1: Anatomia della mano.

Le altre dita sono di lunghezze leggermente diverse; quando sono completamente estese e a contatto tra loro, le punte descrivono una curva regolare, una sorta di ovale. Quando invece vengono allargate, le punte delle dita giacciono su una circonferenza il cui centro è la testa del terzo metacarpale; tale circonferenza passa anche per l'articolazione distale del radio. Il movimento di opposizione del pollice descrive invece una spirale.

L'asse longitudinale della mano passa attraverso il dito medio (Figura 2.2)

Il polso

Il polso è costituito dal complesso delle otto ossa che formano la porzione prossimale della mano (le ossa del carpo) e dal giunto radio-carpace, che lega le ossa della mano al radio, l'osso principale dell'avambraccio (si veda fig. 2.3).

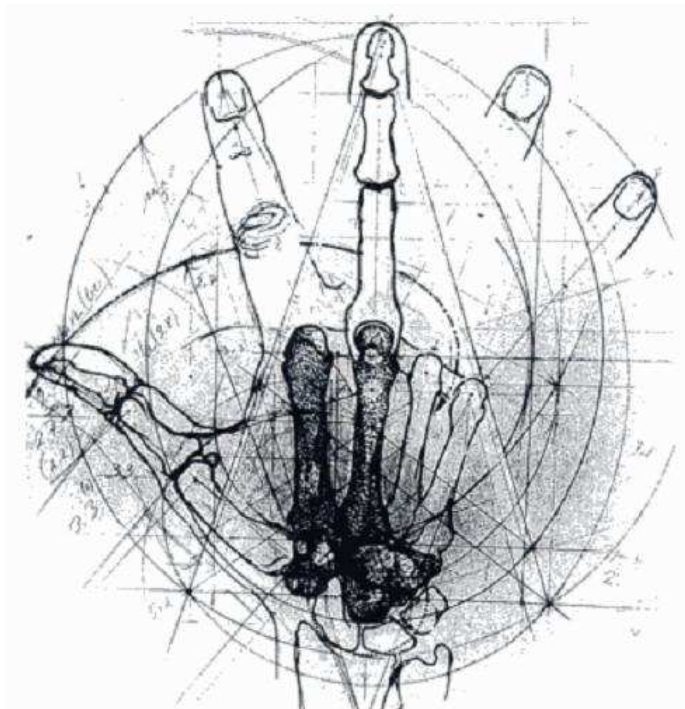


Figura 2.2: Rappresentazione geometrica della mano[6]

Delle due file di ossa, quella prossimale è compresa tra il radio e la fila distale, separata dall'ulna da un disco di fibro-cartilagine che funge da “cuscinetto protettivo” in caso di carichi eccessivi del polso[7]; è sottoposta a piccoli ma continui movimenti, poiché deve adattarsi alla mobilità degli elementi ossei a cui è legata: ciascun osso che la costituisce ha un suo preciso movimento da svolgere. L'arco distale delle ossa carpali è, invece, molto più rigido; le ossa sono infatti collegate tra loro e con le ossa metacarpali da diversi robusti legamenti.

La funzione dei legamenti è di evitare movimenti eccessivi e, quindi, garantire la stabilità del comparto anatomico in cui sono situati; questo è tanto più vero nel caso del polso, dove i legamenti tengono insieme le ossa del polso mentre la mano si muove. I legamenti variano in spessore e robustezza in base alla funzione che sono chiamati a svolgere. Un esempio: il legamento palmare è molto più spesso rispetto a quello dorsale, perché il movimento di estensione sottopone il polso a carichi molto più frequentemente[7].

Il movimento funzionale del polso è dunque il risultato del movimento a livello radio-carpale e medio-carpale. C'è una certa discrepanza di idee riguardo il con-

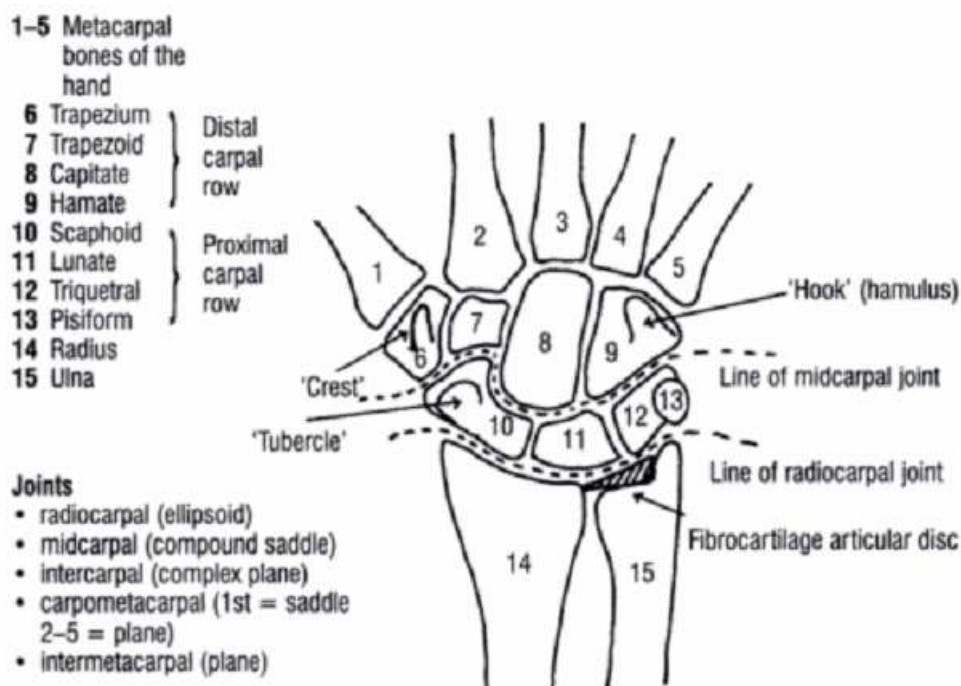


Figura 2.3: Ossa e articolazioni del polso, vista dorsale[7]

tributo delle singole articolazioni al moto complessivo; è stato comunque notato che la predominanza di un giunto in flessione si inverte nell'atto di estensione.[8].

Il ruolo del polso è quello di facilitare il corretto posizionamento della mano, fornendo la base più stabile possibile per un efficace utilizzo dei muscoli flessori ed estensori. Essi originano dalle ossa dell'avambraccio e permettono alla mano di orientarsi per svolgere le più diverse attività; controllano inoltre i movimenti delle dita, per cui il posizionare il polso in un certo modo implica anche agevolare o inibire alcuni movimenti delle dita (ad es., è impossibile la flessione delle dita se il polso è in flessione)[7]. Quando questo complesso meccanismo funziona correttamente, permette al polso di compiere tre movimenti fondamentali (propri, in generale, di tutti i segmenti corporei):

1. flessione/estensione: la flessione è il movimento che avvicina il palmo della mano all'avambraccio, mentre l'estensione avvicina il dorso all'avambraccio stesso, portando il palmo verso l'esterno (si veda figura 2.4). Il polso è molto più stabile in flessione piuttosto che in estensione, stabilità determinata dalla maggior forza di capsule e legamenti.[9]

2. pronazione/supinazione: è il movimento di rotazione del polso attorno all'asse longitudinale dell'avambraccio. Questo movimento mette in realtà in gioco due articolazioni, quella del gomito e quella del polso.
3. adduzione/abduzione: sono i movimenti del polso sul piano sagittale, meglio conosciuti come (rispettivamente) deviazione ulnare e deviazione radiale; nel primo la mano si porta medialmente verso l'ulna, mentre nell'abduzione si porta lateralmente verso il radio. La maggior lunghezza del radio rispetto all'ulna spiega la maggior ampiezza dell'adduzione nei confronti dell'abduzione.[10]

La combinazione di questi tre movimenti determina il movimento di cd. circonduzione del polso.



Figura 2.4: Flesso-estensione del polso e deviazione ulno-radiale[11]

Le dita e il pollice

Le dita ed il pollice sono catene di ossa articolate; ciascun dito è costituito da tre ossa (dette falangi), tenute insieme da tendini e legamenti; ha dunque, almeno in linea teorica, 4 gradi di libertà che garantiscono la flessione/estensione del giunto interfalangeo distale, prossimale e metacarpale, nonché l'adduzione/abduzione di quest'ultimo. ¹Nella pratica, però, il giunto interfalangeo distale non si muove in modo indipendente, cosa che potrebbe permettere di ridurre i gradi di libertà nell'eventuale progettazione di un dispositivo di riabilitazione [12]. La falange prossimale di ciascun dito è collegata al rispettivo osso metacarpale. Ricordiamo che la maggior parte dei movimenti delle dita avviene grazie alla trazione che esercitano i muscoli dell'avambraccio sui tendini delle dita stesse.

Le ossa metacarpali, fatta eccezione per il pollice, sono articolate distalmente alle dita, mentre la loro estremità prossimale è collegata alle ossa del polso; il secondo ed il terzo metacarpale sono caratterizzati da grande rigidità, tanto che costituiscono, insieme con la fila distale delle ossa del carpo, la parte rigida della mano.

Il quarto metacarpale è un osso di transizione; ha circa 10° di mobilità in flessione ed estensione. Il quinto metacarpale è semi-indipendente.

Il pollice si differenzia leggermente dalle altre dita: ha solo tre gradi di libertà (manca della falange intermedia), ma è paradossalmente il dito con la massima capacità di movimento. Il suo primo giunto metacarpale, infatti, è ruotato medialmente (deviato in avanti di circa 40° e in fuori di circa 30°), e ciò comporta assi di movimento differenti rispetto alle altre dita; i movimenti che è in grado di eseguire il pollice sono rappresentati in Figura 2.5: a livello di giunto metacarpo-falangeo (MP) è permessa la sola flessione/estensione; l'abduzione/adduzione (oltre che la flessione-estensione) vengono conseguite a livello carpo-metacarpale (CMC)[12]. Combinazione dei due sono i movimenti di opposizione e circonduzione.

¹I termini adduzione e abduzione, riferendosi alle dita, significano rispettivamente avvicinamento e allontanamento dall'asse mediano della mano. Per il dito medio, che ovviamente non può addursi, è opportuno parlare di inclinazione radiale e inclinazione ulnare (denominazione che può comunque essere utilizzata anche per le altre dita).[10]

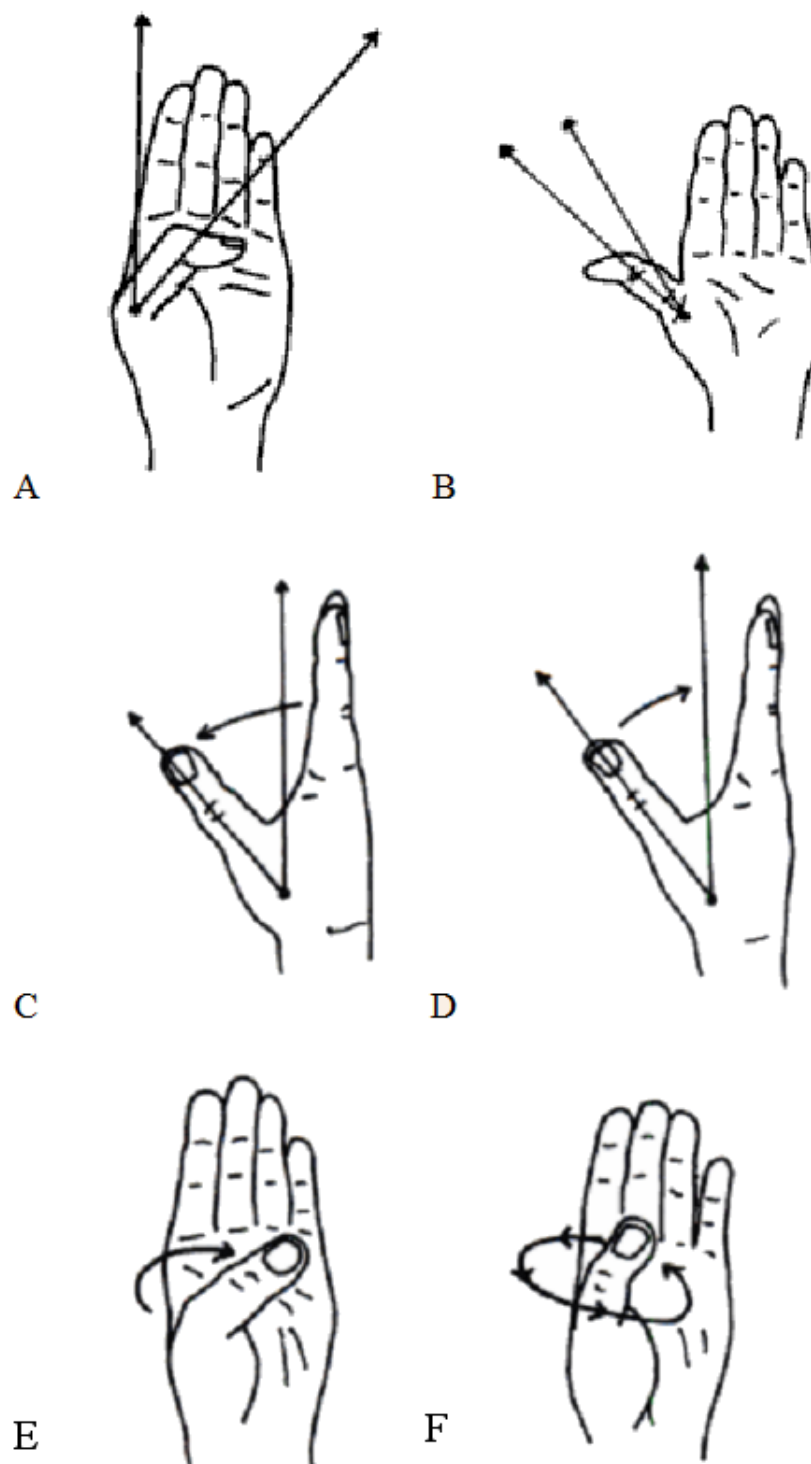


Figura 2.5: Movimenti del pollice. A: flessione, B: estensione, C: abduzione, D: adduzione, E: opposizione, F: circonduzione [7]

Più in dettaglio (terminologia in riferimento a Figura 2.6):

- Flessione: il primo metacarpo si porta in avanti, in dentro e in basso fino a frangere il piano sagittale che passa per il secondo metacarpo; si accompagna ad una rotazione interna (pronazione) che inizia dopo il primo terzo del movimento.
- Estensione: il primo metacarpo si porta indietro, in fuori e in alto fino ad oltrepassare, con la testa, il piano posteriore della mano.
- Abduzione: porta in avanti, in fuori e in alto il primo metacarpo, su un piano anteriore rispetto alla mano.
- Adduzione: è possibile solo un'adduzione al davanti del secondo metacarpo (in flessione)
- Opposizione: è un' importante traguardo dell'evoluzione anatomo-funzionale della mano. Il movimento, che porta il polpastrello del pollice a contatto con quello delle altre dita, è caratterizzato dalla flessione del primo metacarpo associata ad una flessione della prima falange (ed eventualmente anche della seconda) e completata con una rotazione in senso mediale di entrambi i segmenti. Il primo metacarpo sarà sempre più flesso e addotto man mano che l'opposizione passa dall'indice al mignolo.

I tendini del pollice riescono a sostenere forze fino a $30kg$; durante una presa semplice, le forze di compressione che sopportano i diversi giunti vanno dai $5.4kg$ del giunto metacarpale ai $12kg$ del giunto carpo-metacarpale [13]; quest'ultimo, peraltro, riesce a sopportare forze fino a $120kg$ (durante, ad esempio, le prese forti).

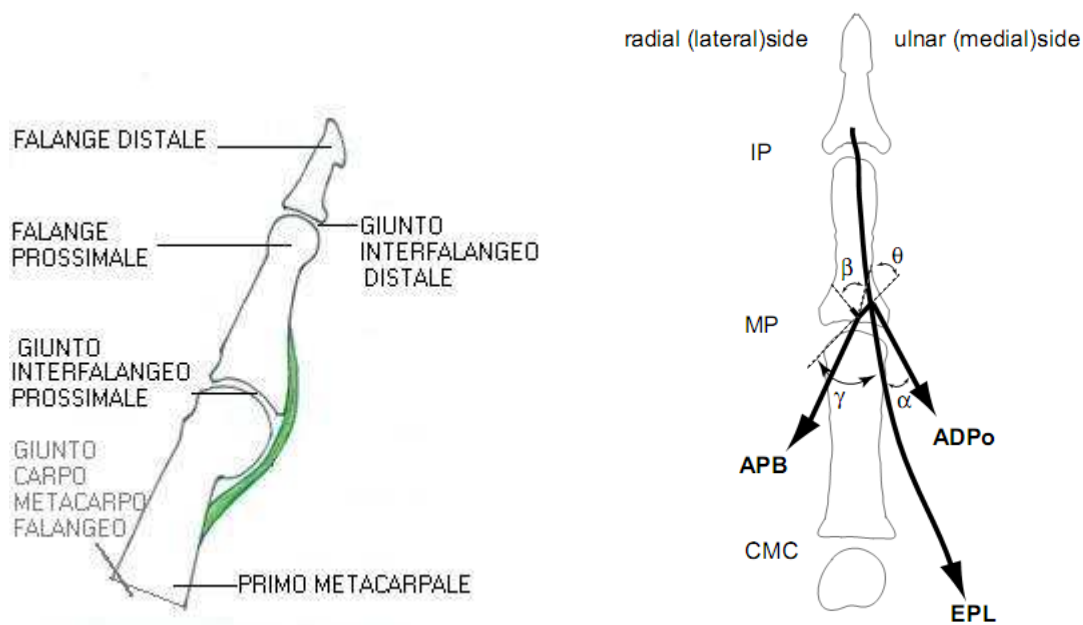


Figura 2.6: A sinistra, anatomia del pollice. A destra, meccanismo di estensione del pollice e direzione delle forze agenti (vista dorsale). IP: giunto interfalangeo; MP: giunto metacarpo-falangeo; CMC: giunto carpo-metacarpofalangeo.[14]

2.2 I movimenti complessi della mano

Le mani sono coinvolte nella realizzazione di numerosi gesti nella vita di tutti i giorni; in alcuni momenti il movimento coinvolge l'intero arto superiore ed il busto, mentre in tutti i casi di manipolazione fine degli oggetti viene coinvolta la mano sola. Questa sezione si occupa di offrire una panoramica dei movimenti e delle diverse prese che la nostra mano è in grado di compiere, analizzando le forze che le diverse sezioni sono in grado di produrre e il range di movimento che riescono a raggiungere. Quando nota, viene fornita indicazione sugli effetti dell'ictus su tali valori.

2.2.1 Classificazione delle prese

Nel 1956 J.R. Napier ha proposto una classificazione delle prese in due macrogruppi; nonostante la semplicità di tale suddivisione, essa si è rivelata talmente efficace da essere ancora oggi utilizzata, seppur con alcune piccole modifiche di termino-

logia. Napier individua due tipologie di presa che, variamente combinate tra loro, danno origine all'intera gamma di gesti che la mano umana può compiere[15]:

- power grip, se l'oggetto viene afferrato con la mano intera, a contatto con il palmo, le dita parzialmente flesse e il pollice esercitante una forza ad esse opposta

- precision grip, se l'oggetto viene gestito utilizzando solo le dita ed il pollice

Funzionalmente, questa suddivisione rispecchia le attività della mano: se si necessita di una presa forte e solida, si utilizza infatti la *power grip*, mentre in caso di manipolazione fine di un oggetto si preferisce la *precision grip*.

Anatomicamente parlando, pur essendo impossibile definire biometricamente i parametri che caratterizzano l'una o l'altra presa, è possibile individuare il ruolo svolto dalle diverse parti della mano. Il pollice, nel passare dalla *precision grip* alla *power grip*, diventa sempre più abdotto, flesso e ruotato medialmente: parallelamente si nota un aumento della sua forza a scapito della precisione. Durante questa progressione si assiste anche alla deviazione ulnare (adduzione) del polso.

Le dita si trovano in una condizione di forte flessione, accompagnata da una leggera inclinazione verso il lato ulnare della mano, nella *power grip*; a mano a mano che la presa si fa più precisa, le dita diminuiscono il loro grado di flessione e sono abdotte a livello di articolazione metacarpale (per aumentare l'ampiezza della mano). Quando l'oggetto diventa molto piccolo, il movimento si sposta verso pollice e indice, che sono le dita meglio in grado di controllare i gesti di precisione.

Infine, la posizione della mano rispetto all'avambraccio: nella *power grip* la mano presenta, come già notato, deviazione ulnare; il polso è in posizione neutra (=né flesso né esteso). Nella *precision grip* non vi è sostanziale movimento di adduzione o abduzione del polso; esso è però generalmente esteso. Esempi (rispettivamente) di *power grip* e *precision grip* sono in Figura 2.7.

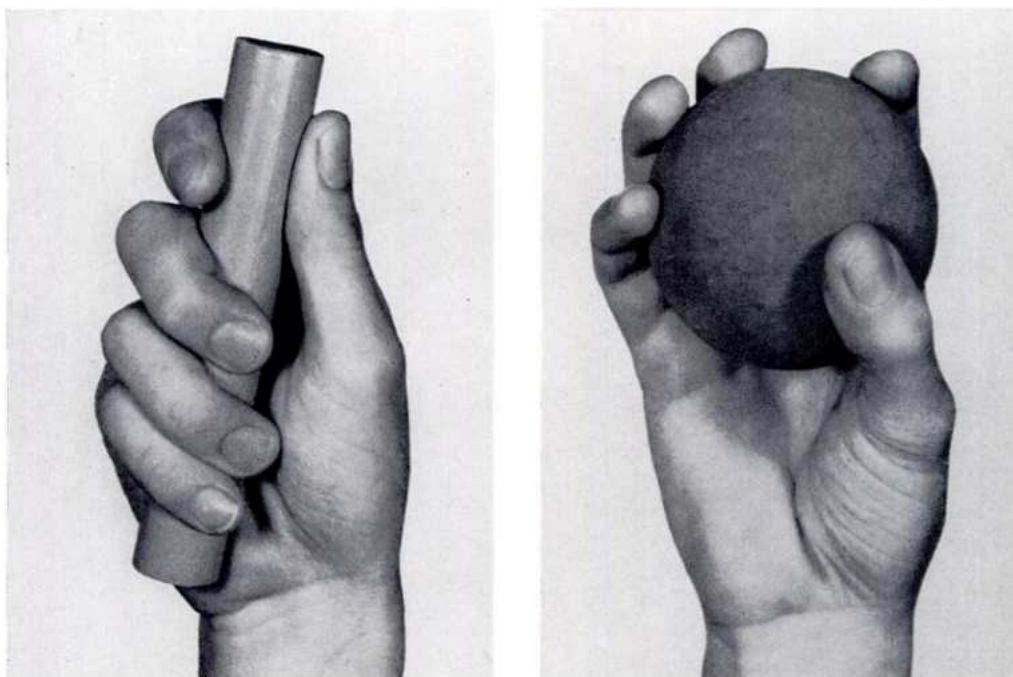


Figura 2.7: Power grip (a sinistra) e precision grip (a destra) [15]

Altri studi [16] si sono preoccupati di proseguire il lavoro iniziato da Napier, introducendo un'ulteriore suddivisione delle prese di precisione, ad esempio in base alle reciproche forze esercitate dalle dita: stando ai risultati conseguiti, è possibile dedurre che il pollice e l'indice rivestono un ruolo di primo piano nell'esecuzione di tutti i movimenti, mentre le altre tre dita contribuiscono a dare stabilità alle prese (Figura 2.8). I movimenti, sempre nello stesso studio, sono classificati in "SIMPLE SYNERGIES" (movimenti in cui le dita esercitano la stessa azione sull'oggetto), "RECIPROCAL SYNERGIES" (in cui le dita agiscono con forze dirette in direzione diversa) e "SEQUENTIAL PATTERNS" (le dita non lavorano tutte insieme nel movimento, ma contribuiscono una dopo l'altra in sequenza).

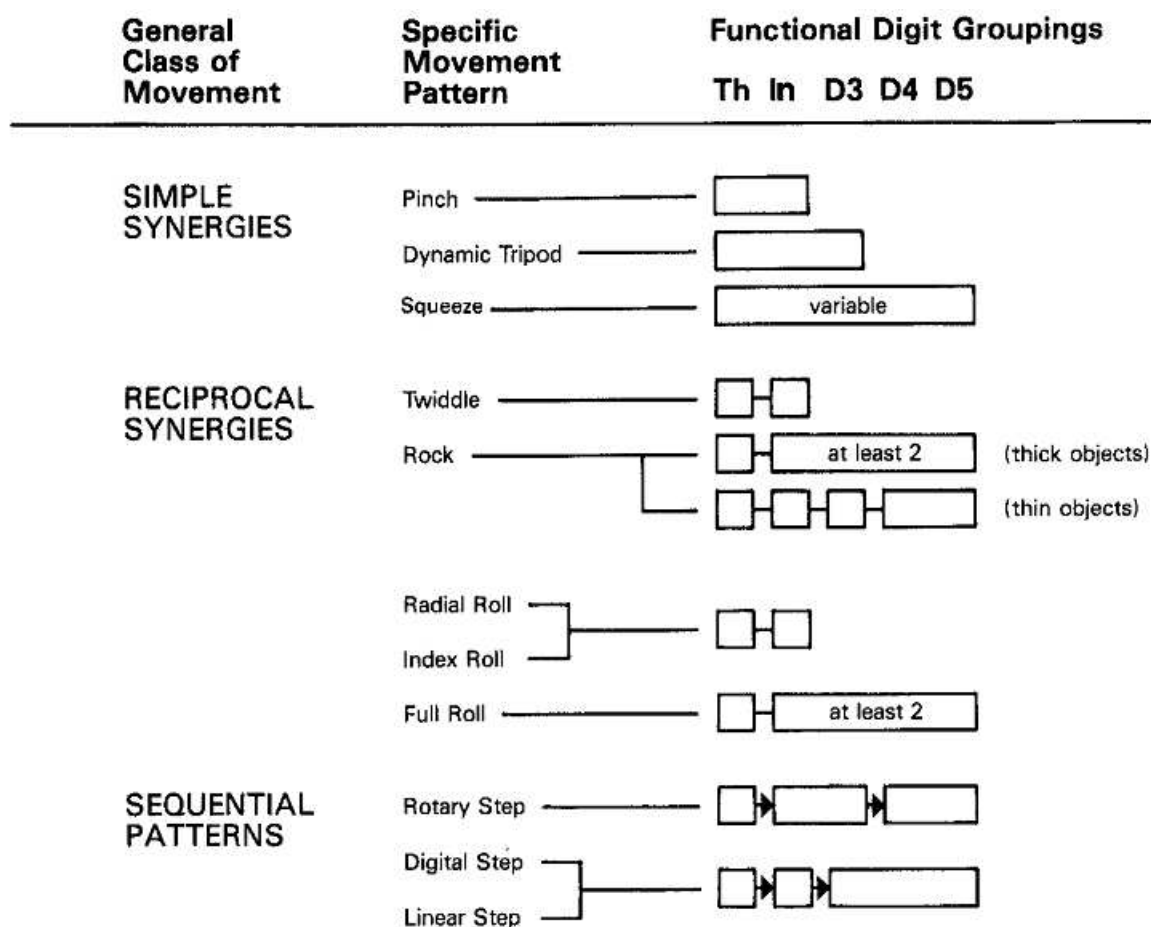


Figura 2.8: Uso delle dita nei diversi movimenti. Il trattino tra i riquadri indica interazione tra le dita o i gruppi di dita, la freccia indica consequenzialità dell'azione. [16]

Tra le varie altre classificazioni delle prese di precisione, la più semplice è quella proposta da Clarkson[17]: *pulp pinch*, *lateral pinch*, *tripod pinch*, *five-pulp pinch* e *tip-pinch* sono le 5 prese individuate (Figura 2.9). Le prime 4 in elenco sono utilizzate nel 65% delle ADL.

In *pulp pinch*/*tripod pinch*/*five-pulp pinch*, l'oggetto è tenuto tra i polpastrelli di pollice ed indice, in posizione opposta l'uno rispetto all'altro. Se viene coinvolto anche il dito medio, per aggiungere forza a questo tipo di presa, si parla di *tripod grip*. Il dito medio ed anulare contribuiscono, anche se in misura minore rispetto alle altre dita, nella *five-pulp pinch*.

Nel lateral pinch il pollice tiene premuto l'oggetto non tanto contro il polpastrello dell'indice, ma contro il lato esterno di quest'ultimo. È anche detta *key pinch*, perché è la tipica presa usata per girare una chiave nella toppa.

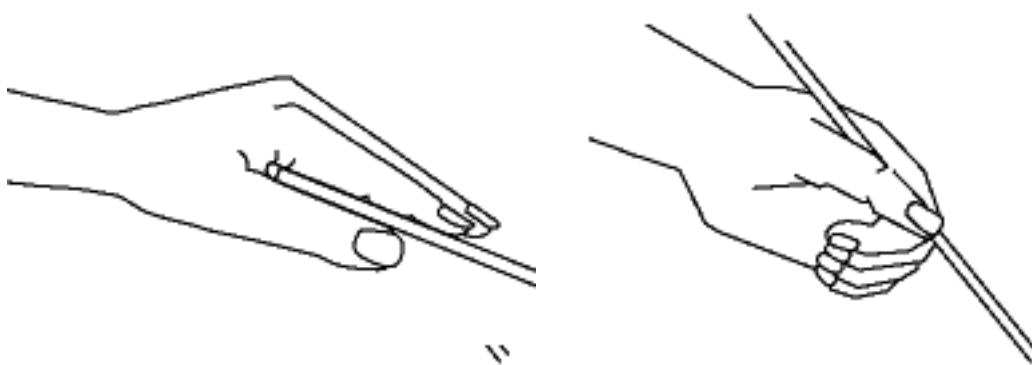


Figura 2.9: Prese di precisione secondo Clarkson: *pulp pinch*, *lateral pinch*[18]

2.2.2 Specifiche in termini di forza della mano

Dati in grado di descrivere la forza esercitata di ciascun dito e dalla mano hanno applicazioni dirette nella progettazione di interfacce e dispositivi riabilitativi. Obiettivo di questo paragrafo è raccogliere i dati finora ottenuti dalla letteratura a questo riguardo.

Le prime ricerche sulle capacità di forza della mano sono iniziate nella seconda metà del secolo scorso, quando furono condotti esperimenti sulla forza nelle diverse prese. Fu parallelamente stabilita la posizione standard per condurre gli esperimenti (ed eseguire gli esercizi fisioterapici): posizione seduta, piedi appoggiati a terra, spalla addotta, gomito flesso a 90° , avambraccio e polso in posizione rilassata - standard raccomandato anche dall' American Society of Hand Therapists. In queste condizioni sono stati condotti esperimenti [19] su diversi soggetti sani e con diverse prese: i risultati conseguiti sono riassunti in Tabella 2.1

La forza media è molto maggiore nelle prese che comprendono più dita, rispetto a quelle che ne coinvolgono uno solo (generalmente il dito indice); inoltre, viene prodotta una forza maggiore all'aumentare della superficie di contatto tra l'oggetto e la mano: infatti, la forza esercitata nel grip presenta il massimo valore.

Misura	Poke	Press	Pull	Lateral	Chuck	Palmar	Grip
Media (N)	45.95	43.05	60.09	80.93	79.75	54.16	370.671
Std (N)	17.8	18.43	25.24	28.15	28.96	18.84	117.729
Var (%)	38.7	42.8	42.01	34.79	36.31	34.78	31.761

Tabella 2.1: Forze esercitate nelle diverse prese in 100 soggetti sani: le prime colonne riguardano le prese di precisione, l'ultima ("Grip") la forza nella power grip. Sono elencati nella prima riga i valori medi, nella seconda riga la deviazione standard corrispondente e nella terza il coefficiente di variazione percentuale. [19]

La letteratura suggerisce anche una differenza tra maschi e femmine nell'esecuzione dello stesso movimento, con le donne in grado di esercitare una forza circa il 30% inferiore rispetto a quella prodotta dagli uomini (Figura 2.2). Le differenze di forza nelle diverse fasce d'età sono invece considerate poco rilevanti. Anche studi molto più recenti [20], eseguiti utilizzando dei guanti dotati di sensori, confermano alcuni dei dati qui elencati.

Sesso	Misura	Poke	Press	Pull	Lateral	Chuck	Palmar	Grip
M	Media(N)	52.58	50.90	70.84	97.02	95.37	62.88	452.44
	Std (N)	18.01	18.37	27.16	27.67	28.26	19.20	102.94
	Var (%)	34.25	36.08	38.34	28.52	29.63	30.54	22.75
F	Media(N)	39.31	35.20	49.33	64.84	64.13	45.45	288.91
	Std (N)	14.94	14.93	17.71	17.52	19.94	13.90	61.33
	Var(%)	38.00	42.42	35.91	27.02	31.10	30.59	21.23

Tabella 2.2: Differenze tra maschi e femmine nelle forze esercitate [19]

Scarsi sono gli studi condotti sulle forze esercitate dalle singole dita: uno dei pochi risultati trovati è in Figura 2.10.

Study	Average finger strength (N)			
	Index	Middle	Ring	Small
Current study	61 (SD=15)	58 (SD=21)	36 (SD=13)	28 (SD=11)
Swanson <i>et al.</i> 1970	52	55	37	23
Dickson <i>et al.</i> 1972	45	43	31	27
Average	53	52	35	26

Figura 2.10: Risultati di test, realizzati su soggetti sani, sulle forze esercitate dal singolo dito [21]

Per quanto riguarda il pollice, nel 2003 è stato realizzato uno studio che, con notevole precisione, descrive le forze espresse dal pollice durante il movimento di *key pinch* e in quello di opposizione, nonché il range di movimento dei diversi giunti articolari che lo compongono: le forze, che comunque non superano mai i 100N, variano molto a seconda della direzione di espressione del movimento (si veda Figura 2.11).

Questi valori calano drasticamente se il soggetto testato è reduce da ictus: come è possibile notare osservando la Figura 2.12, nei pazienti post-stroke la grip-force esercitata cala del 70% rispetto al valore di riferimento (ovvero rispetto alla forza esercitata dall'arto non colpito, nello stesso soggetto).

	Stroke subjects		Control subjects	
	Arto non colpito (N)	Arto colpito (N)	Arto sinistro (N)	Arto destro (N)
Session 1	370 ± 104	123 ± 89	320 ± 105	347 ± 111
Session 2	386 ± 86	133 ± 81	324 ± 102	336 ± 116
Session 3	389 ± 72	135 ± 81	338 ± 101	356 ± 106
ICC	0.86	0.91	0.98	0.95
SEM	33	25	16	66

Figura 2.12: Valutazione della grip force in soggetti sani (Control subjects) e malati (Stroke subjects): confronto tra i valori dei due arti. [22]

Per quanto riguarda le singole dita, uno studio del 2003 ha rilevato che in media la forza massima esercitabile cala del 36% se il soggetto (testato in fase cronica) ha subito ictus. Considerando invece i task che implicavano due dita

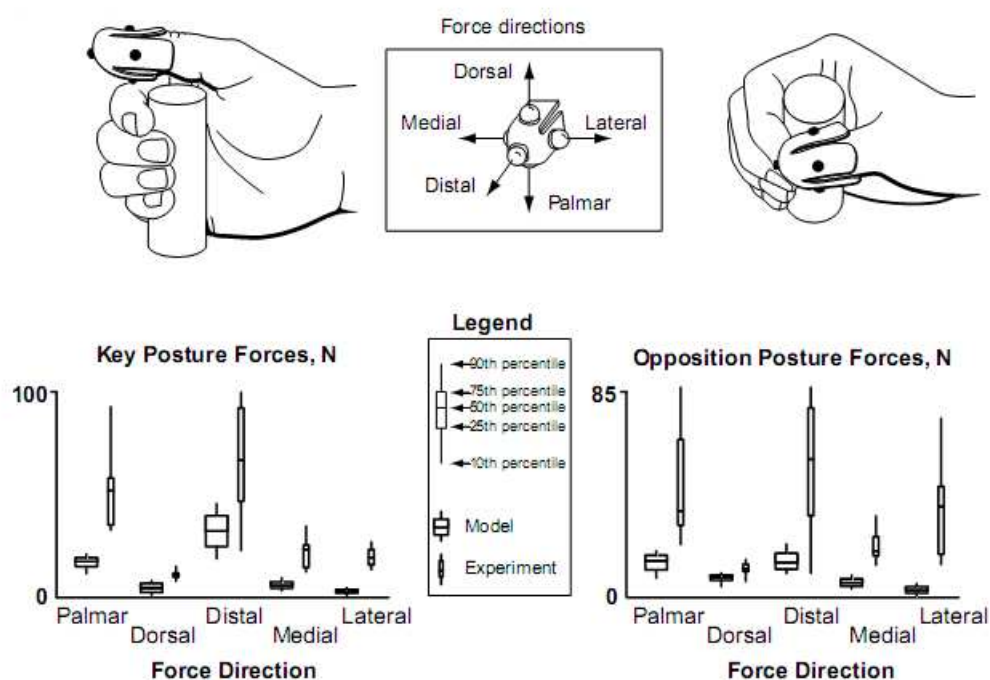


Figura 2.11: Distribuzione delle forze esercitate dalla falange distale del pollice in direzione laterale, palmare, dorsale, distale e mediale [14]

(indice e medio), è stata notata una minor perdita di forza (-24.1% rispetto al valore di riferimento).[23]

2.2.3 Range di mobilità dei giunti articolari della mano

La misura della mobilità dei giunti articolari è una tecnica comunemente accettata per valutare la disabilità. In linea teorica, le nostre estremità sono in grado di muoversi in uno spazio molto ampio e di ruotare con angolature notevoli; vi sono leggere differenze tra adulti e bambini, avendo questi ultimi un maggior grado di mobilità articolare. In realtà, quando si studia il movimento dell'estremità superiore (così come quello di tutti gli altri distretti del nostro organismo), è importante distinguere il range di valori teorici da quelli effettivamente necessari per lo svolgimento della maggior parte delle attività quotidiane. In questo paragrafo riportiamo i valori medi (massimi e funzionali) proposti dalla letteratura.

Polso

Il range di mobilità del polso è molto ampio. Raggiunge i $75^\circ/85^\circ$ (rispettivamente) in flessione ed estensione, i $20^\circ/30^\circ$ in abduzione e adduzione e i $75^\circ/85^\circ$ in pronazione-supinazione. In realtà, però, nello studio del movimento è importante distinguere tra il massimo valore raggiungibile e quello effettivamente necessario per svolgere le attività della vita quotidiana. Nel caso del polso, per esempio, gli archi di estensione-flessione, supinazione-pronazione e adduzione-abduzione non vengono quasi mai sfruttati al 100% nelle attività quotidiane. Uno studio recente ha rilevato come, svolgendo varie attività di cura personale (pettinare i capelli, abbottonare una camicia, lavare i denti, allacciare le scarpe..) raggiungiamo al massimo 54° in estensione e 60° in flessione, 17° in abduzione, 40° in adduzione. Tra l'altro, la maggior parte delle attività richiede un range di valori ancor più limitato. [9] Uno schema riassuntivo è in Tabella 2.3. La conoscenza del range di movimento dell'articolazione del polso per le attività della vita quotidiana è fondamentale per lo sviluppo di dispositivi di assistenza motoria, il cui obiettivo primo dovrebbe essere la riabilitazione del movimento al fine di eseguire la attività di tutti i giorni.

	A-ROM	F-ROM[9]	F-ROM minimo[17]
Flessione/Estensione	$75^\circ/85^\circ$	$60^\circ/54^\circ$	$10^\circ/35^\circ$
Abduzione/Adduzione	$20^\circ/30^\circ$	$17^\circ/40^\circ$	$10^\circ/15^\circ$
Pronazione/Supinazione	$75^\circ/85^\circ$	$50^\circ/50^\circ$	nd

Tabella 2.3: Range di movimento del polso. A-ROM: ROM attivo; F-ROM: ROM funzionale (90% delle attività eseguite); F-ROM minimo: valori minimi necessari per l'esecuzione delle ADL.

Pollice

Il pollice possiede una grande capacità di movimento. Nel 2006 è stato realizzato un modello cinematico completo di questo dito [24], caratterizzato da cinque gradi

di libertà (Figura 2.13). I gradi di movimento dei giunti articolari del pollice rispetto a ciascun asse sono riassunti in tabella 2.4.

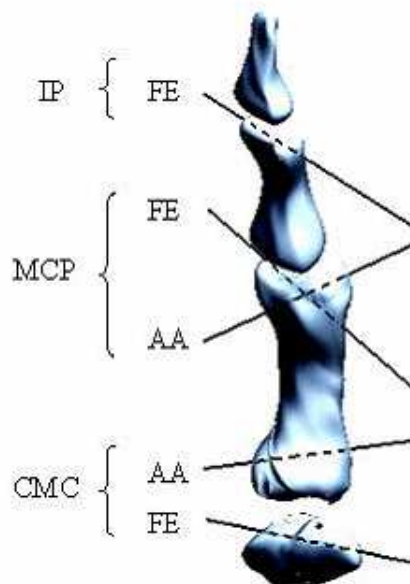


Figura 2.13: Assi di movimento del pollice. Non sono allineati con alcuno dei piani anatomici e, quando più di uno è presente nello stesso giunto, non si intersecano né sono ortogonali.[24]

Asse	A-ROM (gradi)[25]	F-ROM (gradi)[17]
IP FE	0-95	2-43
MCP FE	0-56	10-32
MCP AA	0-19	nd
CMC FE	0-53	nd
CMC AA	0-42	nd

Tabella 2.4: Range di movimento attivo (A-ROM) e funzionale (F-ROM) attorno a ciascun asse.

Dita lunghe

Il dito più studiato, perché funzionalmente più importante, è il dito indice. Può essere modellato come un meccanismo a 4 gradi di libertà: mentre il giunto inter-

falangeo distale e quello prossimale hanno un solo grado di libertà (tale da consentire la sola flessione-estensione), il giunto metacarpale ha due gradi di libertà, che consentono il movimento di flesso-estensione e quello di adduzione-abduzione (fig. 2.14).

Il ROM attivo per ciascun dito si distingue, anche in questo caso, da quello funzionale: infatti, per eseguire il 90% delle attività quotidiane, viene utilizzato circa il 61%, il 64% e il 67% del ROM complessivo per i giunti (rispettivamente) metacarpofalangeo, prossimale e distale.[26] [17]I valori sono indicati in Tabella 2.5.

Il dito indice è importante nell'esecuzione di movimenti di precisione, in collaborazione con il pollice; in queste attività di manipolazione fine il lato ulnare della mano non contribuisce al movimento, mentre è invece importante nella *power grip*.

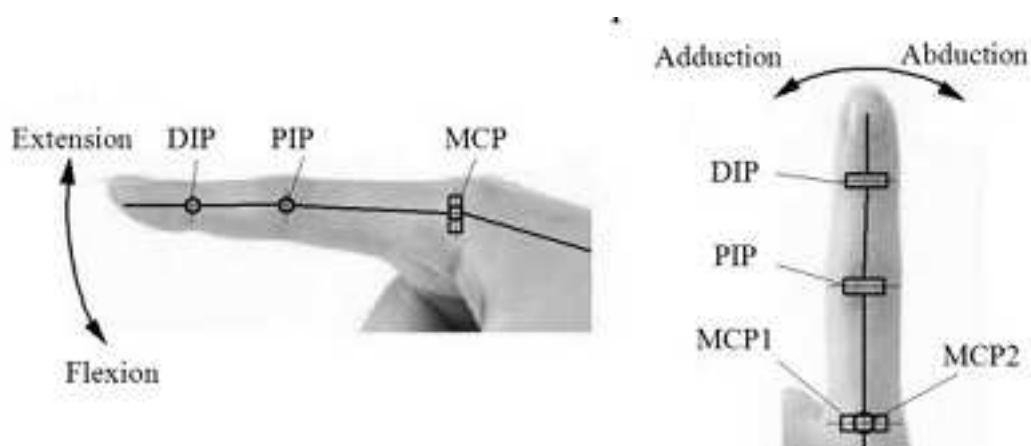


Figura 2.14: Assi del movimento del dito indice. [27]

Asse	A-ROM (gradi)	F-ROM (gradi)
DIP	0-80	10-64
PIP	0-100	23-87
MCP1	0-85	19-71
MCP2	0-45	-

Tabella 2.5: Grado di mobilità attorno a ciascun asse. A-ROM: Active Range of Motion; F-ROM: Functional Range of Motion (valori medi sulle 4 dita) [26]

Per quanto riguarda il ruolo dei diversi giunti, è stato notato [26] che l'MCP viene utilizzato dalla mano per aumentare la sua apertura (es. per afferrare gli oggetti più voluminosi); è dotato di un ROM attivo piuttosto ampio, ma è piccolo il suo ROM funzionale. Il PIP è il giunto funzionalmente più importante; ha ampio ROM, sia attivo che funzionale. Infine, il giunto DIP lavora in collaborazione con il PIP per realizzare i movimenti di precisione. Interessante è vedere come, al variare delle dimensioni degli oggetti, i giunti modifichino la propria angolatura (Figura 2.15). Alcuni cinesiologi, infatti, assimilano la mano ad una sfera che può diventare più o meno aperta in rapporto alla contrazione o al rilasciamento di determinati muscoli; ricordiamo che, nella patologia a carico del SNC, la mano perde tale capacità di cambiare forma e viene di solito ad assumere la forma di una sfera rigidamente chiusa a causa della prevalenza di certi schemi flessori e della facilità con cui ad essi si irradia la messa in funzione di altri muscoli.[28]

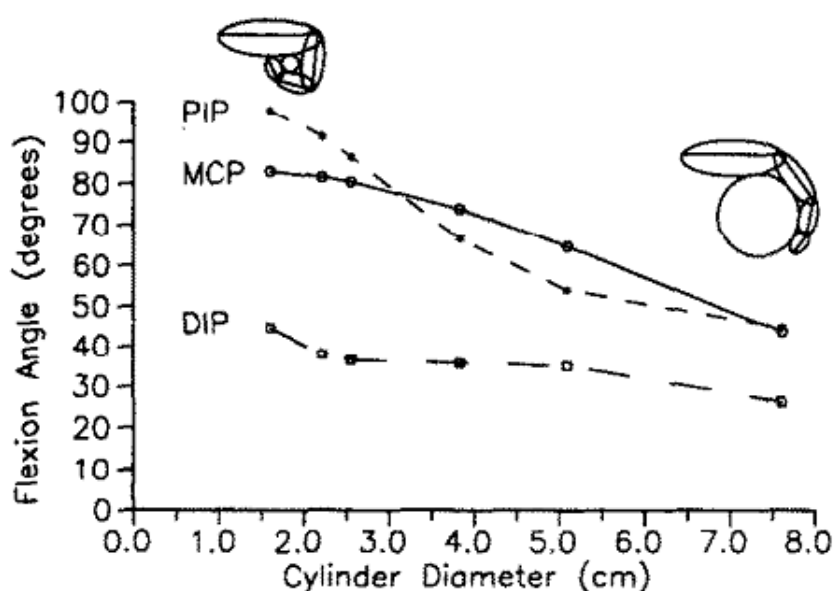


Figura 2.15: Andamento medio dell'angolo di flessione dei giunti all'aumentare del diametro del cilindro scelto per il test.[29]

2.3 Fenomeni tipici nell'arto superiore emiplegico

Le manifestazioni più vistose dell'invalidità motoria dell'emiplegico sono la perdita della capacità di mobilizzare le singole articolazioni e di fissare il resto dell'arto, oltre alla notevolissima diminuzione del numero dei movimenti che esso è in grado di eseguire. I fenomeni più facilmente osservabili sono[30]:

- **IPERREFLESSIA ALLO STIRAMENTO:** ad un soggetto sano è possibile estendere passivamente un'articolazione e raggiungere la massima escursione consentita, qualunque sia la velocità della manovra. Nel soggetto emiplegico tutto ciò non accade: anzi, *compare una resistenza tanto più spiccata e precoce quanto più veloce e ampia è la manovra;* inoltre, si incontrerà difficoltà (se non impossibilità) a raggiungere il massimo grado di escursione articolare, tanto che un primissimo metodo di valutazione della gravità del paziente è quello di valutare tale angolo di escursione (detto "angolo alfa"), che sarà tanto più piccolo quanto più il quadro clinico è grave. Infine, si potranno osservare movimenti involontari in articolazioni vicine.
- **FENOMENO DEL "COLTELLO A SERRAMANICO":** la resistenza che l'arto plegico oppone alla mobilizzazione passiva aumenta gradualmente fino a che non cede improvvisamente. Questo rilasciamento riflesso, a scatto, può verificarsi in un qualsiasi punto dell'angolo di escursione articolare, ma sempre prima che il muscolo possa dirsi eccessivamente allungato.
- **SINERGIE:** l'attivazione di un singolo modulo motorio a livello distale determina l'attivazione dell'intera combinazione e sequenza motoria in tutto l'arto
- **SINCINESIE:** movimenti involontari prodotti nella mano plegica quando la mano conservata compie movimenti volontari

Inoltre, Brunnstrom ha poi osservato i seguenti fenomeni:

- **RISPOSTA DI TRAZIONE PROSSIMALE:** lo stiramento dei muscoli flessori di una qualsiasi articolazione dell'arto superiore provoca e facilita la contrazione dei muscoli flessori di tutte le altre articolazioni.
- **GRASP REFLEX:** la pressione profonda con movimento in direzione distale dalla superficie palmare del polso e della mano provoca il riflesso di prensione in due momenti, uno di afferramento (debole contrazione dei muscoli flessori e adduttori) e uno di tenuta. Il contatto stazionario sulle stesse aree dà una reazione istintiva di prensione, che si manifesta invece con la chiusura obbligata della mano e l'incapacità del paziente di rilasciare l'oggetto con cui il palmo è venuto a contatto. Questo riflesso, che scompare subito dopo la nascita, si ripresenta solo in presenza di danno cerebrale.
- **REAZIONE ISTINTIVA DI ALLONTANAMENTO:** se il paziente ha il braccio plegico elevato in avanti e in alto, in luogo del grasp reflex si verifica iperestensione delle dita.

Pattern della manipolazione nell'emiplegia

Nonostante la notevole variabilità da individuo a individuo, è possibile individuare 5 schemi di manipolazione generali riscontrabili nei soggetti emiplegici^[31]²:

I Mano integrata: si presenta semiaperta con dita ben estese, pollice normale o leggermente abdotto, con eventuale opposizione subtermino-terminale con l'indice e/o il medio (pinza distale). Sono possibili i movimenti isolati delle dita, specie dell'indice. Il polso è esteso e sufficientemente mobile, l'avambraccio normale o solo leggermente pronato, il gomito leggermente flesso e la spalla complessivamente mobile.

II Mano semifunzionale: è semiaperta con dita prevalentemente estese e leggermente abdotte, pollice allineato o poco addotto, possibile opposizione sub-termino-terminale o termino-laterale con l'indice e/o il medio (pinza

²La classificazione, realizzata da A. Ferrari nel 2004, è stata in realtà proposta per classificare le mani di bambini affetti da Paralisi Cerebrale Infantile. Pare essere tuttavia estendibile anche ai soggetti emiplegici adulti.

superiore-intermedia). Sono possibili i movimenti isolati delle dita, specie dell'indice, ma con ridotta variabilità. Il polso è leggermente flesso e ancora sufficientemente mobile, l'avambraccio semipronato, con supinazione attiva limitata o possibile solo in appoggio o a gomito flesso; il gomito è semiflesso ma mobile e la spalla leggermente abbassata.

III Mano sinergica: si presenta semiaperta con giunto MCF semiesteso, dita semiflesse e leggermente abdotte e pollice addotto, raramente sottoposto alle altre dita, ma non imprigionato. Possibili i movimenti combinati delle dita con scarsa partecipazione del pollice. Il polso è parzialmente flesso, in deviazione ulnare più o meno marcata e con mobilità limitata; l'avambraccio è semipronato e con supinazione ridotta, il gomito semiflesso ma ancora abbastanza mobile e la spalla abbassata ma mobile.

IV Mano prigioniera: è chiusa a pugno con pollice imprigionato nel palmo o incarcerato fra indice e medio. Il polso è flesso e in deviazione ulnare, l'avambraccio pronato con ridotta supinazione (anche passiva). Il gomito è flesso e scarsamente mobilizzabile, la spalla abbassata, antepulsa e leggermente abdotta. Sono impossibili i movimenti isolati delle dita. È lo schema più frequente nell'emiplegico spastico adulto.

V Mano esclusa: è semiaperta con dita leggermente flesse, il pollice allineato o poco abdotta (ma non opponibile). I movimenti isolati delle dita sono impossibili. Il polso è flesso, generalmente mobilizzabile l'avambraccio è normale o semipronato, con ridotta supinazione attiva, il gomito semiflesso e generalmente mobilizzabile, la spalla poco abbassata, addotta e antepulsa.

Capitolo 3

La riabilitazione della mano

Le modalità riabilitative ad oggi presenti sono numerosissime: in questa tesi ci si sofferma, in modo particolare, sul confronto tra due:

- fisioterapia individuale (hand to hand): gli esercizi vengono eseguiti in strutture adeguate (ospedali, cliniche, case di cura private o, più raramente, a domicilio) con l'aiuto di un terapeuta esperto. Presenta due fondamentali problemi: i costi e la spesso non adeguata disponibilità di personale.
- robotica: macchine robotizzate, realizzate secondo ben precisi requisiti, con l'obiettivo di supportare il lavoro del fisioterapeuta, diminuire i costi e, quando possibile, aumentare l'intensità dei trattamenti somministrati.

Per stabilire i risultati conseguiti, i vantaggi e gli svantaggi dell'una o dell'altra terapia (e dei numerosissimi altri approcci fisioterapici ad oggi esistenti) sono stati condotti diversi studi [32, 33, 34]; focalizzando la nostra attenzione sul confronto terapia individuale-terapia robotica, si nota come il secondo approccio abbia alcuni pregi:

- produrre stimoli intensivi, prolungati e altamente selettivi, favorendo la plasticità cerebrale
- ottimizzare i tempi, dal momento che possono essere trattati più pazienti contemporaneamente
- standardizzare la pratica riabilitativa

- fornire opportunità di esercizio indipendente: i dispositivi possono essere controllati da remoto, oppure pre-programmati per eseguire solo determinati esercizi
- per studiosi e ricercatori, consentire un'analisi in tempo reale dettagliata e precisa dei processi in atto, fornendo una chiave per elaborare nuovi pattern di esercizio

D'altra parte, gli stessi studi sopra menzionati hanno evidenziato i potenziali limiti di una terapia esclusivamente robotica, tra i quali:

- esercizi spesso non funzionali in senso stretto: ci si chiede quanto una macchina in grado di produrre soltanto un movimento planare del braccio possa essere effettivamente utile per, ad esempio, sollevare un bicchiere d'acqua.
- la ripetitività del movimento potrebbe essere interpretata dal paziente come una sequenza infinita di esercizi poco interessanti; di conseguenza, l'attività di riabilitazione potrebbe essere mal tollerata o addirittura abbandonata.
- non sono ancora noti i benefici a lungo termine di esercizi prolungati ed intensivi

È stato recentemente tentato di comprendere quale sia l'effettivo stimolo principe nella riabilitazione, se l'esercizio prolungato o la forza che un dispositivo robotico è in grado di produrre sull'arto malato; questo avrebbe effetti non tanto sull'uso della terapia robotica in sé, quanto sulla complessità e l'economicità della stessa. La questione è rimasta aperta: se per il recupero fossero semplicemente necessari movimenti prolungati, gli attuatori di forza sarebbero solo un inutile spreco di risorse e tecnologie, ma lo studio si dichiara ottimista sull'utilità anche di questi ultimi. [35]

Alcuni terapeuti si dichiarano favorevoli all'introduzione di ortosi attive in fase di riabilitazione, adducendo motivazioni simili a quelle elencate sopra. Sostengono che di fondamentale importanza sono le possibilità di esercizio attivo/passivo, di assistenza attiva del ROM, di allungamento/rinforzamento muscolare e, soprattutto, di aiuto nella realizzazione di task funzionali. [36] Altri si rivelano

parecchio dubbiosi e diffidenti nei confronti di questo tipo di approccio, ritenendolo alienante e poco in grado di rispondere alle più diverse esigenze dei soggetti. Inoltre, soprattutto la generazione meno giovane teme l'avvento di dispositivi per la riabilitazione automatica come possibile motivo di perdita di lavoro, benché i dispositivi non mirino alla completa sostituzione della figura del fisioterapista (che continuerebbe infatti a gestire la componente funzionale degli esercizi), quanto piuttosto a rendere più efficiente e regolare il servizio di riabilitazione.

In sostanza, comunque, la migliore strategia riabilitativa non è ancora stata individuata; gli studi che confrontano in maniera rigorosa e sistematica le diverse opportunità di riabilitazione sono scarsi e, nel migliore dei casi, mantengono un atteggiamento cauto. Non essendoci però evidenze sperimentali negative riguardo la terapia robotica che, anzi, ha dimostrato in alcuni casi ottimi risultati, essa è -ad oggi- una via in pieno sviluppo e su cui vengono riposte le migliori speranze.

In questo capitolo si procede con l'analisi della pratica fisioterapica odierna, riportando anche descrizione di alcuni casi clinici direttamente osservati. Si prosegue con una panoramica sulle soluzioni robotiche ad oggi proposte a scopi riabilitativi.

3.1 Riabilitazione fisioterapica post-ictus

La conseguenza più comune dell'ictus, che colpisce circa l'80% dei pazienti sopravvissuti, è la disabilità motoria[32]: essa si concretizza, nella maggior parte dei casi, nell'incapacità totale o parziale di controllare muscoli e movimenti del volto e degli arti. La funzionalità dell'arto superiore è compromessa in fase acuta nell'85% dei pazienti. Nei 3-6 mesi successivi una percentuale variabile tra il 55 e il 75% dei casi presenta ancora tale interessamento. Il trattamento intensivo può migliorare a 6 mesi la funzionalità nei soggetti a media gravità, mentre non ci sono effetti nei soggetti gravi. [37] Vista la rilevanza del problema, e considerato il fatto che i notevoli progressi ottenuti in tempi recenti nel settore della rieducazione motoria hanno ristretto di molto il numero degli esiti delle neurolesioni considerate fino a poco tempo fa irreversibili, moltissima attenzione è stata posta nel processo riabilitativo. Ed ecco che oggi è possibile osservare pazienti,

colpiti anche da forme gravi di emiplegia, recuperare quel grado di indispensabile autonomia che consente loro di condurre una vita quasi normale.

Alla base di questi buoni risultati vi è di sicuro il miglioramento delle tecniche riabilitative, derivato a sua volta dagli studi dei substrati anatomici corrispondenti e dal continuo confronto e dibattito tra le diverse scuole di riabilitazione. È infatti innanzitutto possibile suddividere le metodiche riabilitative in due macrocategorie: “sherringtoniane” e “corticaliste”. I seguaci del fisiologo inglese Sherrington (es. Bobath, Kabat) si ispirano al presupposto che l’attività motoria risulti dal collegamento, operato da catene riflesse, di comandi efferenti inviati al rispettivo distretto muscolare. Ricorrono dunque a stimoli semplici, in grado di provocare un’attività riflessa la cui risposta è assolutamente prevedibile e sempre uguale per tutti i pazienti. L’attività motoria è quindi schematica e la partecipazione del soggetto emiplegico è scarsa e non determinante. Essendo dunque il movimento sempre lo stesso, ma variabile soltanto in intensità, e realizzandosi con un rapporto temporale di immediatezza tra stimolo e risposta motoria, a queste metodiche ben si adatta l’attributo di “*sincroniche*”.

I corticalisti, d’altra parte, sostengono il ruolo essenziale di pre-programmazione del movimento (elaborata a livello corticale), per cui propongono una riabilitazione che stimoli parecchie strutture del SNC del paziente prima ancora di produrre una risposta motoria nel paziente. In questo senso, possiamo dire che i corticalisti seguono una linea *diacronica*: gli esercizi DEVONO raggiungere lo stadio cosciente ed essere elaborati dal paziente per eseguire correttamente l’atto motorio; a tal fine si utilizzano stimoli strutturati ai quali il paziente assegna un significato particolare, e si fa costante riferimento ad attenzione, memoria, affettività, esperienze precedenti del paziente stesso, il quale si trova quindi direttamente coinvolto nello sforzo di ri-apprendimento.

Un altro argomento ampiamente dibattuto è rappresentato dal tipo di successione spaziale che deve essere adottato nel trattamento riabilitativo: meglio privilegiare la riabilitazione delle regioni prossimali o di quelle distali dell’emicorpo plegico? Nell’adulto gli schemi motori più evoluti vengono realizzati in massima parte dalle parti distali, le quali svolgono inoltre un ruolo insostituibile nella regolazione cosciente del movimento (sia perché controllate direttamente dalla vi-

sta, sia perché sede delle percezioni necessarie per la vita di relazione). Tuttavia, affinché il movimento attivo venga espresso in modo armonioso, tempestivo ed economico, esso ha bisogno di una base posturale, affidata alle parti prossimali ed al tronco: esse infatti elaborano le caratteristiche spaziali macroscopiche del movimento. La risposta al dilemma delle due scuole di pensiero è nota: le metodiche sincroniche sono favorevoli ad un tipo di successione dalle regioni prossimali a quelle distali; le diacroniche mantengono un atteggiamento più cauto, sostenendo che il problema va posto soltanto dopo la valutazione del paziente e l'individuazione del sub-sistema funzionale leso. Recenti studi hanno messo in evidenza che la progressione prossimo-distale potrebbe provocare l'inibizione delle sinapsi dei fasci motori delle porzioni distali stesse, con conseguente pregiudizio nel recupero motorio di tali distretti nel malato. A questo proposito, una terapia robotica in grado di allenare contemporaneamente le due porzioni potrebbe essere un'ottima soluzione. [38]

Lungo tutto il processo riabilitativo, il terapeuta ha il compito di proporre esercizi in grado di ripristinare, del tutto o in parte, il movimento della mano (forza e range di movimento). Diverse strategie fisioterapiche sono state poste a confronto, dimostrando che vengono prodotti benefici significativamente maggiori da terapie più intensive che si focalizzano su specifiche abilità, piuttosto che da terapie più blande (per quanto riguarda la durata settimanale di esercizio) che compendono un capo più vasto di esercizi.[39] In ogni caso, comunque, gli esercizi si focalizzano inizialmente sull'eliminazione di piccoli movimenti volontari o movimenti riflessi involontari. L'arto può cominciare ad essere "allenato" a riprendere la sua funzionalità da quando la mano riesce almeno a resistere alla forza di gravità.[40] In caso di ictus ischemico, la terapia può essere iniziata quando lo stato clinico può essere definito "stabile" il che significa dopo un tempo variabile tra 2 e 7 giorni. In caso di ictus di altra natura, invece, è opportuno procedere in modo più cauto e valutare parametri vitali/referti neurologici con più attenzione.

3.1.1 La letteratura: scuole di pensiero nella riabilitazione

L'obiettivo principale della neuroriabilitazione deve essere quello di rendere il paziente mobile e indipendente nel più breve tempo possibile. [41]

Assumendo tutte come principio guida questo assunto, negli ultimi decenni si sono sviluppate diverse “scuole” di pensiero riguardanti la riabilitazione motoria nell'adulto: Bobath, Brunnstrom, Perfetti..sono solo alcuni nomi, che hanno dato il nome ad altrettante terapie riabilitative. Mancano prove efficaci circa la superiorità dell'uno o dell'altro metodo.

Negli ultimi anni alla fisioterapia tradizionale, che punta al recupero di movimento (camminare), equilibrio(stare seduti o in piedi) e coordinazione in generale (passare da una posizione all'altra..), si è affiancata la terapia occupazionale, che si preoccupa di rendere il soggetto indipendente nelle “occupazioni” della vita, ovvero nelle attività del quotidiano (quali mangiare, bere, vestirsi, lavarsi, scrivere..).

I diversi metodi di riabilitazione sono qui brevemente trattati nei loro caratteri generali. Ove possibile, si è cercato di studiare con maggior dettaglio gli esercizi proposti da ciascuna “scuola” di pensiero specificatamente per la riabilitazione dell'arto superiore.

Metodo Bobath[42]

Tale metodo si basa sull'inibizione dell'attività riflessa abnorme e sulla facilitazione dell'attività posturale e motoria normale.

Il terapeuta sceglie gli interventi paziente per paziente, valutandone le disfunzioni motorie e sensitive, le risorse cognitive disponibili, le strategie di compensazione che ha sviluppato, l'ambiente in cui il paziente vive e gli obiettivi che dovrebbe/vorrebbe raggiungere alla fine del percorso riabilitativo: il metodo Bobath, quindi, non fornisce un metodo vero e proprio per il trattamento del paziente stesso, e non esistono “esercizi” di Bobath codificati o predefiniti. Tutti gli interventi devono puntare al rendere il trattamento più duraturo e “funzionale” possibile; la motivazione del paziente è di fondamentale importanza. L'influenza

di stimoli periferici sul movimento migliora la qualità del movimento stesso, in tutti i compiti (reach, grasp, controllo posturale..).

Alcune linee guida nell'esecuzione degli esercizi:

- in alcuni casi potrebbe essere utile “distrarre” il paziente dal compito riabilitativo, impegnandolo in un altro processo cognitivo che coinvolge la spazialità (es. chiedergli di descrivere la propria abitazione in dettaglio). Di solito, però, il terapeuta deve mantenere viva l'attenzione del paziente, tanto da invitarlo a seguire l'esercizio proposto.
- per migliorare le percezioni sensoriali, può essere utile bendare il paziente (o semplicemente chiedergli di chiudere gli occhi)
- è possibile migliorare l'adattamento motorio mobilizzando le strutture specifiche, cercando di aumentarne la flessibilità, la lunghezza muscolare e l'allineamento delle componenti, introducendo gradualmente esercizi di “sollevamento pesi” in combinazione con compiti funzionali.

Metodo Kabat (o PNF: proprioceptive Neuromuscular Facilitation)

Sviluppata da H.Kabat e M.Knott a cavallo tra gli anni '40 e '50, è un approccio di riabilitazione utilizzato per migliorare la funzione motoria e facilitare la massima contrazione muscolare. Kabat osservò che un movimento è generalmente compiuto eseguendo una rotazione lungo linee diagonali rispetto all'asse sagittale del corpo: i muscoli delle estremità e del tronco sono infatti raggruppati funzionalmente in schemi specifici che combinano flessione-estensioni, abduzioni-adduzioni e rotazioni; un singolo muscolo o un movimento isolato non è praticamente mai usato nel compimento dell'attività volontaria. Durante la riabilitazione, il terapeuta produce quindi resistenza diretta sul muscolo, ponendolo in contrazione fino a scatenare l'irradiazione; inoltre gli esercizi richiedono stabilizzazione ciclica e repentini cambi di direzione di stimolazione.[43]



Figura 3.1: Alcune sequenze di movimenti dell'arto superiore tipiche del metodo Kabat [44]

Metodo Perfetti

Secondo questo metodo, il corpo è considerato prima di tutto come superficie recettoriale; si sostiene infatti che il soggetto non impara il movimento, ma le sensazioni che derivano dal movimento stesso, le quali non possono essere che tattili o cinestesiche. Di conseguenza, tutti gli esercizi proposti sono impostati come problemi di tipo conoscitivo. Viene richiamato l'uso di processi cognitivi, dell'attenzione, della memoria (es. sensazioni già avute in precedenza dal paziente), ed il paziente è chiamato a riferire la propria esperienza del corpo (saper riconoscere pressione, angoli articolari, posizione dell'arto...). E' per questo motivo che gli esercizi vengono preferibilmente eseguiti ad occhi chiusi. La raccolta di informazioni sensoriali punta inoltre ad evocare nuovi reclutamenti.

Esempio tipico di esercizio: il paziente ha di fronte alcuni oggetti di varia natura e forma; gli vengono presentati, fatti vedere e "sentire" sia con la mano in salute che quella deficitaria a occhi aperti, quindi inizia l'esercizio vero e proprio che consiste nel riconoscere ad occhi chiusi, con la mano lesa, gli oggetti presentati in precedenza.

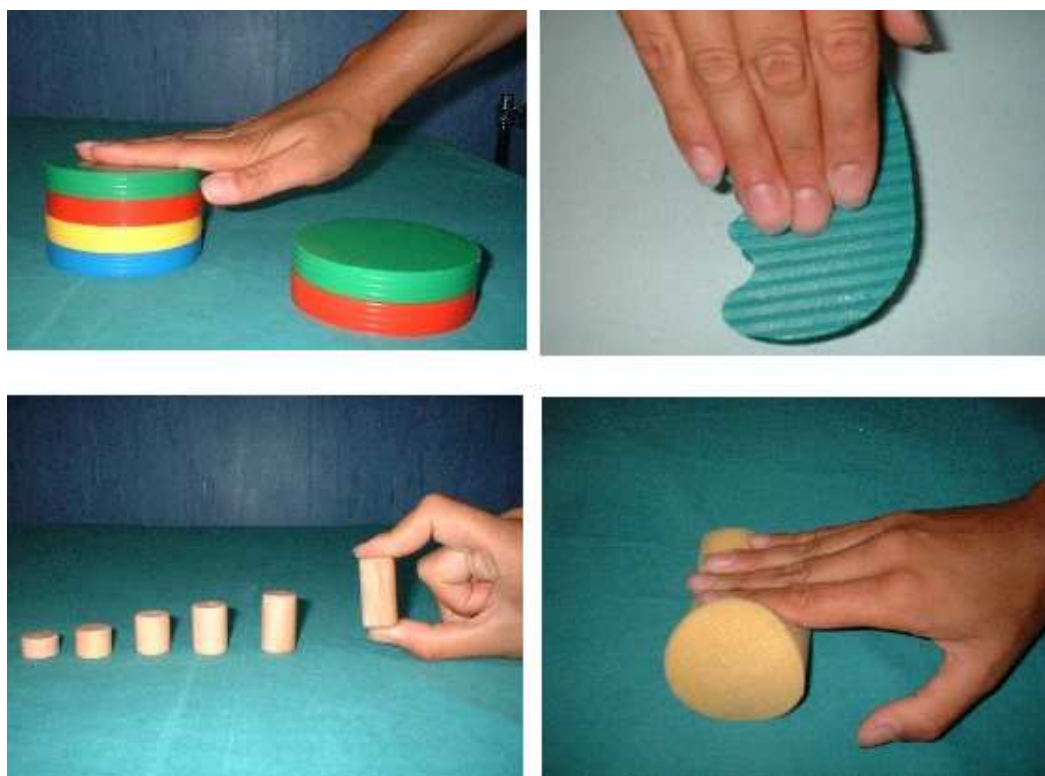


Figura 3.2: Esercizi tipici del metodo delle percezioni somestestiche (o metodo Perfetti)[?]

Perfetti stesso fornisce, in uno dei suoi primi testi, indicazioni utili per svolgere l'attività di fisioterapia: sono da escludere esercizi contro resistenza, irradiazione, nonché l'uso di reazioni associate; è da ritenersi scorretto sia il tentativo di evocare la comparsa di movimenti mediante stimoli propriocettivi o esteroceettivi, sia la richiesta di una contrazione muscolare che venga esercitata senza alcun controllo sulle caratteristiche del reclutamento delle unità motorie. Occorre invece mettere fin dall'inizio il paziente in condizione di poter far ricorso ai mezzi di controllo più fini che ha a disposizione, sia relativamente a movimenti elementari, sia per sequenze più complesse: solo attraverso queste strategie, sostiene, può essere riappresa la motricità evoluta. La richiesta di movimento volontario complesso può avvenire solo quando il paziente ha acquisito un soddisfacente controllo (sia dinamico che statico) di tutte le articolazioni poste in gioco dalla sequenza richiesta.[28]

Metodo “Task and context-related”

E' stato dimostrato [41] che questo approccio fisioterapico è il più efficace nel trattamento dei pazienti in fase acuta; è basato sulla plasticità della nostra struttura neurale e sulla capacità umana di apprendere nuovi pattern motori, e oltre a questo promuove la partecipazione attiva del soggetto e le modifiche dell'ambiente circostante. In questo approccio le risposte indotte dal terapeuta (tipiche del Bobath) vengono sostituite con l'interazione diretta e *volontaria* del paziente con l'ambiente che lo circonda; in secondo luogo, gli esercizi proposti sono ora diretti specificatamente ai soli muscoli necessari per realizzare quello specifico task.

Focalizzando la nostra attenzione sull'arto superiore, questo metodo si propone di rendere il paziente in grado di eseguire movimenti volontari, ad es. (da seduto) raggiungere un oggetto lontano, appoggiarsi sull'arto malato, portare un bicchiere alla bocca, sollevare e rilasciare oggetti dal tavolo..

Uno studio recente [45] ha rilevato l'importanza di evitare movimenti “compensatori” nell'esecuzione degli esercizi sin dai primi istanti post-stroke, perché tali movimenti potrebbero poi essere difficili da eliminare. In particolare, è stato constatato che notevoli miglioramenti sono stati conseguiti, anche da pazienti in fase cronica, cercando di evitare/minimizzare i movimenti del tronco: questi miglioramenti si concretizzano in una riduzione della disabilità e un aumento della funzionalità dell'arto (aumenta il ROM delle articolazioni).

I risultati sono tanto migliori quanto più è grande la severità dell'ictus (Figura 3.3)

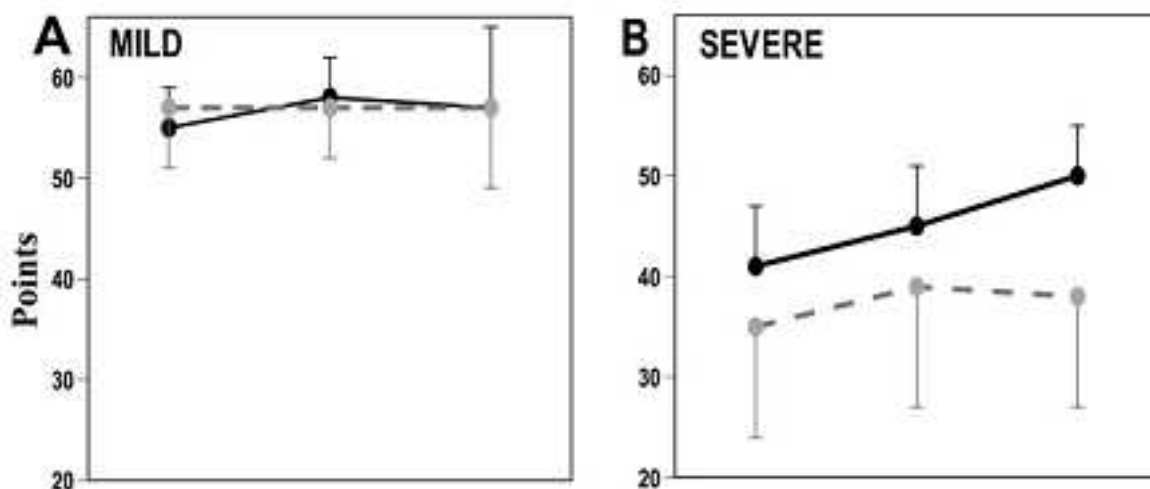


Figura 3.3: Miglioramento medio (e SD), rilevato con Fugl-Meyer Assesement Scale in A) pazienti con disabilità moderata e B) pazienti con disabilità severa. La linea continua identifica il gruppo pazienti il cui torace è bloccato, quella tratteggiata il gruppo di controllo. I valori sono rilevati all’inizio, subito dopo il test e dopo un certo tempo [45]

3.2 La pratica riabilitativa: osservazione diretta di casi clinici

Sotto la guida di un terapeuta esperto, si è cercato di osservare “dal vivo” quale sia l’effettiva prassi riabilitativa in diverse strutture del vicentino e del padovano: alcune strutture (ad es. il Reparto di Rieducazione Funzionale di Schio) sembrano seguire piuttosto fedelmente le linee guida perfettiane; altre (Azienda Ospedaliera di Padova, Centro Fisioterapico di Cadoneghe, Casa di Cura “Villa Margherita”), invece, lasciano che il terapeuta imponga il lavoro con maggiore libertà; spesso, comunque, non una sola “scuola di pensiero” viene presa in considerazione: si valuta infatti di volta in volta la condizione del paziente e si scelgono di conseguenza gli esercizi più adatti al caso.

Di seguito si descrivono i ventitre pazienti osservati, focalizzando l’attenzione dapprima sulle caratteristiche della mano plegica (tono, range di movimento articolare, forza esercitabile, sensibilità..), quindi sugli esercizi proposti dai terapisti.

- 78-enne emiplegica sx, ad un mese dall'episodio ischemico presentava ipertonìa del gomito e polso tendenzialmente abdotto. In tutti gli esercizi il terapeuta cerca innanzitutto di indurre a rilasciare il muscolo e chiede al paziente di seguire con attenzione tutti i movimenti, talvolta incoraggiando la paziente ad "aiutarlo" nell'esecuzione degli esercizi. Nello specifico della mano il terapeuta, che si dichiara "bobathista", mantenendo il pollice fermo in posizione estesa accompagna il movimento delle dita, tutte insieme, cercando di piegare anche le falangi distali. Viene anche stimolato il polso nel movimento di prono-supinazione, accompagnandolo alla flessione-estensione del gomito, e quello di flessione-estensione (seppur in modo minore). Il movimento è lento e spesso ci sono delle pause in cui viene mantenuta una certa posizione (es. mano estesa appoggiata sul lettino a dita unite, cercando di inibire l'ipertonìa). Stimoli sensoriali (es. frizione del dorso della mano) sono considerati importanti per la ripresa dell'arto. Alla vista di una pallina in gomma sul lettino della signora, il terapeuta si mostra contrariato: la pallina, spiega, favorisce il movimento di flessione, ma in quello stadio il paziente non è ancora in grado di rilasciare autonomamente la mano, che quindi rimarrebbe avvinghiata alla pallina stessa. Infine, sostiene che non è detto che i tempi di esercizio prolungati producano grossi giovamenti, ma tutto dipende da quanto il paziente è in grado di assorbire.
- 69-enne, M, ricoverato per 2° ictus da 8 giorni (30 - 03 - 10), dunque in piena fase acuta. L'emiplegia è marcatissima, secondo il terapeuta anche a causa dell'ictus precedente (che aveva già quasi immobilizzato l'arto destro). Il paziente presenta mano a pugno con marcata spasticità, tanto che il terapeuta deve esercitare una considerevole forza per fargli aprire le dita (che comunque il paziente tende a richiudere a pugno). Gli esercizi sono simili a quelli descritti sopra, solo più lenti, eseguiti in modo completamente passivo dal paziente e con delicata energia da parte del terapeuta. L'arto viene stimolato per alcuni minuti, poi lasciato sul petto impostando la posizione di riposo, quindi ripreso per un ulteriore ciclo di esercizi.
- La terza paziente (74enne, F, senza recidive) è stata solo valutata: si muove

3.2. LA PRATICA RIABILITATIVA: OSSERVAZIONE DIRETTA DI CASI CLINICI⁴⁵

abbastanza bene, quindi si suppone sia reduce di TIA.

- 64-enne in fase cronica, M, senza recidive, secondo il terapeuta ha quasi completamente superato il deficit di forza e l'abnorme irradiazione derivanti dal danno neurologico; presenta ora alcuni problemi alla spalla di natura ortopedica. La mano destra, con due dita amputate per lavoro, ha recuperato grazie all'esercizio una buona capacità di movimento (compatibilmente con le condizioni). Si presenta normalmente estesa, con le dita che tendono a richiudersi leggermente, e comunque non in modo rigido; l'indice tende a restare più teso delle altre dita. Gli esercizi, tutti PASSIVI, si svolgono ad occhi chiusi per permettere al paziente di concentrarsi sulla sua esperienza del corpo: 1) viene invitato a percepire differenze tra diverse consistenze (vengono utilizzate delle spugne uguali per forma ma di diversa durezza: nel primo esercizio (durata ca.10 minuti) vengono poste una alla volta sotto al gomito o al polso e il paziente deve riconoscere con che spugna è venuto a contatto; nel secondo esercizio il terapeuta applica, sempre con le spugne, pressioni diverse sulla spalla del paziente); 2) il pz., sulla base delle sole informazioni cinestesiche, deve dire verso che direzione il terapeuta gli sta spostando il braccio, direzione individuabile il base ad un tabellone a 9 caselle che il paziente ha già avuto modo di vedere: la mano e il braccio vengono accompagnate dal "punto zero" (=mano sul ginocchio) verso il tabellone. Il polso viene mantenuto in posizione di riposo (non flessione né esteso), e il terapeuta sostiene da sotto o il polso stesso o le zone più distali della mano (palmo e prima falange prossimale); le dita restano morbide. Viene rilevata una leggera resistenza del gomito nel ritorno del braccio. 3) il pz. viene invitato al riconoscimento di sagome su cui viene portato (passivamente) il dito indice: questo esercizio serve per dare coscienza di misure/piccoli spostamenti. 4) su una pedana di legno inclinata di 30° rispetto al tavolo vengono attaccati dei "tappetini" di vari tessuti: il terapeuta, afferrando la mano del pz dal dorso, la accompagna sui tappetini, invitando i pazienti a riconoscerne le diverse consistenze.
- 58-enne, F, senza recidive, quasi completamente ripresa, presenta solo de-

boli problemi alla mano e maggiori difficoltà nell'uso degli arti inferiori. L'unico esercizio per l'arto superiore cui viene sottoposta è il seguente: su un tavolino (sufficientemente alto da garantire che il gomito, se appoggiato, sia flesso a 90°) viene appoggiata una pedana mobile, fissata alla sua base con un perno centrale; vengono appoggiati gli avambracci del paziente sulla pedana (mano distesa, gomito flesso), quindi il terapeuta muove lentamente la pedana stessa: il paziente deve riconoscere in che direzione va la pedana (avanti a destra, basso a sinistra..)

- 69-enne, M, senza recidive, presenta emiparesi sinistra per ischemia avvenuta esattamente due mesi prima; trattato con fibrinolisi subito dopo l'evento, ha recuperato piuttosto in fretta un minimo grado di mobilità. La mano non presenta spasticità, anche se le dita tendono spontaneamente a richiudersi un po'; l'accessibilità palmare della stessa è comunque garantita. Gli esercizi sono di "primo grado" (ovvero, non implicano reclutamento, ma solo compiti conoscitivi): nonostante siano tutti passivi, il terapeuta fa notare che il paziente ha comunque ottenuto certi miglioramenti. Esercizi proposti: 1) come sopra, tabellone 3x3 che richiede la riproduzione mentale del movimento (in questo caso vengono sostenute mano, dita e polso); 2) tabellone 3x3 in cui il paziente deve riconoscere, sempre ad occhi chiusi, in che stato si trovano spalla ("alta"- "bassa") e gomito ("aperto"- "chiuso"). Il terapeuta sostiene polso e mano. 3) il terapeuta fa scorrere il dito del paziente sul contorno di alcune T in rilievo, diverse per lunghezza/inclinazione dei lati, e il paziente (una volta aperti gli occhi) deve riconoscere su quale sagoma ha passato di volta in volta il dito. 4) esercizi preparatori alla funzione di orientamento: la mano viene appoggiata lateralmente al tavolo, dita unite, pollice addotto, avambraccio sul tavolo, gomito a 90° . Il terapeuta muove la mano, sostenendola in dita e pollice, facendo scorrere il pollice stesso su un semicerchio in legno (su cui sono indicati dei numeri): il paziente deve riconoscere verso che numero viene di volta in volta orientata la mano (esercizio utile per la prono-supinazione). 5) Esercizi di pinch tra pollice e dita lunghe: regoli di diverse lunghezze (1-2-3-4) vengono posti tra il pollice e una delle altre dita; il paziente deve riconoscere la lunghezza del regolo e il

3.2. LA PRATICA RIABILITATIVA: OSSERVAZIONE DIRETTA DI CASI CLINICI

dito che va in pinch con il pollice. Tutti i movimenti vengono accompagnati.

- 71enne, M, senza recidive, in fase cronica, presenta plegia relativamente leggera dell'emicorpo sinistro, con compromissione anche di alcune aree cerebrali: esegue in maniera abbastanza buona i macro-movimenti (con lentezza apre e chiude autonomamente la mano; piega gomito e polso, anche se non copre tutto il ROM normale; esegue prono-supinazione dell'avambraccio, anche se non completa), ed è anche in grado di svolgere alcuni movimenti fini. A riposo la mano si presenta quasi normale, non eccessivamente irrigidita, pollice in posizione zero solo leggermente tendente all'adduzione; la mano è dunque accessibile sia dal palmo che dal dorso senza problemi. Gli esercizi proposti sono abbastanza complessi, visti i progressi del paziente; vengono intervallati da massaggi e stretching:

1. Spostare delle palline di gomma (\varnothing 8 cm) dal tavolo -su cui il pz poggia gli avambracci- ad una vaschetta appoggiata sempre sul tavolino. Il pz mostra buona padronanza del movimento, anche se tende a compensare il ROM mancante con movimenti del tronco (da evitare il più possibile), che ruota e sposta la spalla sinistra in avanti -per evitare questi movimenti si invita il paziente a controllare con calma ogni movimento, dal gomito alla spalla, rilasciandoli gradualmente. A causa delle lesioni al cervelletto, quando una pallina gli è scivoltata di mano il paziente ha iniziato a muovere l'arto (spalla e gomito in prevalenza) a scatti e in maniera totalmente incontrollata.
2. Al paziente viene consegnata una pallina di "pongo" elastica: gli viene richiesto di eseguire il gesto di strappare dei pezzettini di pongo con pollice+1 altro dito alla volta (pinch); per farlo, il paziente mantiene il pollice fermo e le altre dita abbastanza rigide (DIP e PIP poco flessi, MCP si muove, flettendosi poco, per eseguire l'esercizio).
3. Fare una pila con delle costruzioni colorate di diverse grandezze (5×5 , 2.5×5 e 2.5×2.5 cm): anche in questo caso le dita restano quasi sempre dritte, si muove quasi esclusivamente l'MCP.

4. Raggiungere con la mano sinistra un barattolo (tipo marmellata) poggiato sul tavolo e svitarne il coperchio, prima con la mano plegica che sorregge il barattolo, poi la stessa che svita il coperchio. Il paziente deve versare sul tavolino la pastina (molto piccola, tipo stelline) contenuta nel barattolo, quindi rimetterla nel barattolo con un esercizio di pinch. Dita tese e rigide come sopra, la spalla tende a ruotare in avanti in maniera più marcata.
- 80-enne, M, senza recidive, ictus subito 7 anni fa. La sua condizione è rimasta abbastanza grave: muove poco il gomito, tende ad eseguire tutti i movimenti a scatti e a richiudere (avvicinando e irrigidendo) le dita quando la mano viene lasciata libera (anche se l'accessibilità "palmare" della mano potrebbe comunque essere possibile). Gli esercizi proposti sono:
 1. Dalla posizione zero (spalla addotta, gomito a 90°, avambraccio appoggiato sul tavolo), il terapeuta accompagna il braccio del pz dal tavolo a lungo il fianco e viceversa, sorreggendo l'avambraccio da sotto quando il tavolo non fa più da supporto e, all'occorrenza, allargando le dita del pz dal palmo.
 2. Aprire e chiudere il pugno ed eseguire prono-supinazione (non accompagnata ma autonoma) con avambraccio poggiato sul tavolo. Il pz abbozza un movimento ma non copre tutto il ROM; in supinazione tende a richiudere le dita e fatica a riaprire completamente il pugno.
 3. Pinch (pollice+ un dito alla volta), ed aprire completamente la mano ad ogni pizzico: le dita tendono a restare rigide e diritte; c'è incertezza e tremore. Il pz nel complesso non riesce ad eseguire movimenti selettivi.
 4. Portare la mano plegica verso la spalla (omolaterale prima, controlaterale poi), quindi riportare l'arto in posizione zero. I movimenti sono molto poco accompagnati ma, in questo modo, il pz si stanca molto; in autonomo, inoltre, non raggiunge mai la spalla, e ad ogni ripetuta tocca un punto sempre più basso sul tronco.

3.2. LA PRATICA RIABILITATIVA: OSSERVAZIONE DIRETTA DI CASI CLINICI⁴⁹

- 63-enne, M, subisce ictus (no recidive) nel luglio 2003. Afferma di aver recuperato l'80% della funzionalità dell'arto inferiore, mentre riscontra difficoltà oggettive nell'uso dell'arto destro. La mano è molto rigida ma non chiusa, per cui è accessibile sia dal palmo che dal dorso; solo il pollice tende a richiudersi verso il palmo. A causa di questa rigidità (dovuta alla continua flessione), prima degli esercizi e tra un esercizio e l'altro si cerca sempre di rilassare i muscoli contratti (in questo caso palmo vicino al pollice e avambraccio) attraverso dei massaggi. Gli esercizi sono:
 1. Dalla posizione zero si chiede al pz di spostare il braccio dal tavolo a lungo il fianco e viceversa (movimento tutto accompagnato dal terapeuta, che guida il polso da sopra), quindi si strisciarlo avanti e indietro sul tavolo (anche in questo caso il terapeuta regge polso e avambraccio da sopra). Il paziente mostra tendenza (non più accentuata) ad aprire la spalla verso l'esterno e a richiudere la mano; il pollice è sempre piegato e flesso.
 2. Flesso-estensione del pollice (che tende a bloccarsi), sia accompagnata -il terapeuta esercita anche una certa forza per impedire che il pollice si chiuda verso il palmo- che non.
 3. Prono-supinazione in autonomo (non completa, mancano circa 60° alla supinazione normale)
 4. Afferrare un bicchiere: le dita chiuse sono tutte accompagnate dall'esterno, il palmo è libero; polso e pollice, non sorretti, tendono a flettersi. Mimare quindi il movimento di bere.
 5. Far rotolare una pallina di gomma avanti e indietro o a cerchio sul tavolo: la mano aperta viene sostenuta dal terapeuta dal dorso.
 6. Per curiosità, il pz chiede di provare a scrivere qualcosa, ma mostra notevoli difficoltà già nell'afferrare la penna dal tavolo e togliere il cappuccio.
- 65-enne, F, ictus (no recidive) subito l'anno precedente. Presenta debole sensibilità della mano destra(non riesce a distinguere che dito viene sti-

molato, sia che si eserciti una pressione dorsalmente sia che si stimolino i polpastrelli) e non esegue alcun tipo di movimento. Per questo motivo, gli esercizi proposti devono essere SOLO PASSIVI. La mano a riposo tende a richiudersi, contratta, anche se l'accessibilità palmare è comunque garantita; il pollice è flesso e chiuso verso il palmo, le dita sono piegate a livello MCP e PIP. Gli esercizi proposti, a causa di questo stato, sono soprattutto esercizi di stretching e mobilizzazione passiva (per evitare che i giunti si blocchino a livello osseo e, perciò, si arrivi a livello di non poter nemmeno eseguire passivamente l'esercizio):

1. Flesso-estensione e prono-supinazione del polso: l'estensione raggiunge metà del ROM normale, la flessione è quasi nulla. Il terapeuta sostiene la mano come se stesse dando una stretta di mano, per impedire che la mano stessa si richiuda. Si esegue quindi estensione delle dita accompagnata (giunti interfalangei non flessi e pollice mantenuto esteso); vengono poi "tirate" e massaggiate bene tutte le dita. Non appena la pz lamenta dolore, l'esercizio viene sospeso.
 2. Signora distesa sul lettino (alcuni esercizi infatti possono riuscire più difficili se effettuati contro gravità), spalla abdotta a 45°, si fa eseguire flesso-estensione del gomito con polso supinato e rotazione della spalla, tenendo una mano sulla spalla (attenzione ad eventuali sublussazioni della stessa, causate dall'immobilità) e una sotto il gomito
 3. Sempre da posizione distesa, si chiede alla pz di eseguire a occhi chiusi, con l'arto sano, lo stesso esercizio di stretching che il terapeuta fa eseguire a quello malato: si verifica che la pz ha esterocezione buona (e propiocezione alterata)
- 68-enne, M, leucemico con probabile ictus lieve subito. Presenta debolezza diffusa, la mano (sinistra) reagisce comunque abbastanza bene e si muove autonomamente, anche se un po' rigida. I problemi maggiori sono per gli arti inferiori, su cui si concentra la seduta riabilitativa

3.2. LA PRATICA RIABILITATIVA: OSSERVAZIONE DIRETTA DI CASI CLINICI 51

- 83-enne, F, si trova nel reparto di terapia intensiva per emorragia cerebrale e successiva operazione, plegica per l'emicorpo destro. Non mostra alcun segno di collaborazione, solo l'arto sinistro si muove appena, e la mano sx si chiude se stimolata (probabilmente di riflesso istintivo). Prima di eseguire gli esercizi, che evidentemente possono essere soltanto passivi, la terapeuta verifica che non siano presenti lussazioni a livello di articolazione omerale ed inoltre evidenzia edema diffuso del lato destro, cosa che porrà un ulteriore limite nell'esecuzione dei movimenti stessi. La mano ed il braccio sono del tutto inerti e pesanti; le dita sono distese flaccidamente e non presentano alcuna resistenza al movimento; anche il pollice non è reattivo. Come conseguenza, l'accessibilità della mano è garantita sia dal palmo che dal dorso. Si esegue prima adduzione (completa) e abduzione (30°-40°) della spalla, che però si presenta molto rigida già a piccole angolature; la si accompagna talvolta con leggera flessione-estensione del gomito (20-30°) e prono-supinazione dell'avambraccio (movimento che non sarebbe stato possibile se il paziente, invece che flaccido, avesse presentato ipertono). Quindi si porta il braccio avanti e indietro (i movimenti sono lenti e viene mantenuta la posizione finale per alcuni secondi) e poi si procede verso la mano: flessione-estensione del polso (flessione quasi nulla, estensione di 20-30°, di più l'edema non consente), abbinata al movimento delle dita lunghe, che vengono piegate tutte insieme (MCP e DIP soltanto, a causa del gonfiore) fin quasi a toccare il palmo. Si provano anche dei movimenti di pinch pollice-altre dita.
- 71-enne, M, senza recidive, in ICU, plegico per l'emicorpo sinistro (il quadro però è talmente grave e la lesione così diffusa da far presupporre un'evoluzione verso la tetraplegia). Anche questo paziente presenta flaccidità diffusa, il braccio è pesante e non oppone alcuna resistenza al movimento. Gli esercizi sono pressoché identici a quelli effettuati per la paziente precedente, se non che ora il soggetto manifesta dolore anche a piccole angolature, e nonostante la terapeuta stia eseguendo i movimenti con la massima delicatezza e sensibilità.
- 64-enne, M, senza recidive, operato per neoplasia frontale, presenta emor-

ragia cerebrale destra diffusa. E' emiplegico per l'arto sinistro e presenta anche eminegligenza per lo spazio di sinistra, oltre che problemi gravi di attenzione complessiva. Il braccio sx è flaccido, la mano è morbida, le dita distese e il pollice in posizione normale. La mobilizzazione avviene senza incontrare alcuna resistenza da parte del paziente, anzi l'assenza di muscoli (bicipite) permetterebbe di spingere il movimento anche a livelli non raggiungibili dall'arto normale, proprio per la presenza della muscolatura. La mobilizzazione viene effettuata dal terapeuta tenendo una mano sopra alla spalla (per mantenere l'omero in posizione ed evitare lussazione) e una sotto il gomito, sostenendo l'avambraccio del pz con il proprio: vengono eseguiti movimenti di adduzione-abduzione della spalla (arrestandosi a circa 90°, con gomito parzialmente flessi, per evitare lussazione) e spostamenti avanti-indietro, oltre che movimenti del polso, delle dita lunghe insieme (chiudendole verso il palmo, tenendole dalle punte) e qualche esercizio per il pollice.

- 74-enne, F, ha subito ictus un mese fa ma l'emicorpo destro si trova ancora in fase flaccida (quadro non molto incoraggiante). E' quasi totalmente incosciente e assolutamente non collaborativa, per cui anche in questo caso si eseguono solo alcuni semplici esercizi di mobilizzazione passiva. L'arto superiore presenta completa assenza di tono, di forza e di resistenza; la mano è flaccida ed inerte, le dita distese e il pollice non offre ingombro per un'eventuale accesso palmare alla mano. Le articolazioni sono comunque tutte libere, per cui i movimenti possono essere eseguiti (passivamente) senza troppe difficoltà.
- 67-enne, F, emiplegica per l'arto sinistro, si trova in uno stato di sopore e semi-incoscienza, anche se è più vigile rispetto alla paziente precedente; il quadro motorio per l'arto superiore è molto simile a quanto riportato sopra (arto non reattivo, mano flaccida, assenza di tono, articolazioni libere..).
- 86-enne, F, ha subito lesione ischemica frontale sinistra da 4 giorni (26 giugno 2010), quindi in piena fase acuta; già presente sofferenza cerebrovascolare diffusa, con precedente di ictus ischemico. L'arto superiore esegue

3.2. LA PRATICA RIABILITATIVA: OSSERVAZIONE DIRETTA DI CASI CLINICI 53

movimenti contro gravità, anche se non completi (grado 3+/5 nella scala delle forze), normotono nella mobilizzazione passiva, manca solo un po' di forza (sia nella mano che nel braccio tutto). Si procede alla mobilizzazione richiamando l'attenzione del paziente sulle varie posizioni assunte dall'arto (a occhi chiusi o meno, confrontandolo con l'arto sano o meno): i movimenti (es. flessione-estensione della spalla o del gomito, sostenendo gomito e mano dal palmo, adduzione-abduzione del polso) sono lenti e ne vengono eseguiti 8, massimo 10, per piano.

- 80-enne, F, senza recidive, ha una monoplegia per l'arto superiore sinistra da 8 giorni (fase acuta). Il tono dell'arto è flaccido: solo la spalla inizia qualche reclutamento attivo, mentre la mano mostra un reclutamento molto parziale -e più selettivo per le dita- soprattutto in chiusura; anche il polso dà qualche cenno di movimento, ma si evidenzia contemporaneamente irradiazione orizzontale (=movimenti incontrollati dell'arto sano). Ha un 4-/5 di forza per braccio e avambraccio, un 2-/ per le dita; le articolazioni sono libere. Vengono eseguiti alcuni esercizi di stretching (apertura e chiusura della mano, con pollice mantenuto esteso dalla terapeuta, adduzione e abduzione delle dita), mobilizzazione passiva (flessione-estensione del gomito associata a prono-supinazione del polso, a dita estese) e mobilizzazione assistita per spalla e gomito (elevazione del braccio e abduzione della spalla), assistita perché la paziente mostra di collaborare attivamente al movimento. Inoltre si introducono stimoli sensoriali ed esercizi di riconoscimento posizioni, confrontandole con l'arto sano: la pz mostra le maggiori difficoltà nel riconoscimento della mano aperta o chiusa.
- 82-enne, F, senza recidive, ha da 5 giorni emiplegia destra, senza recidive. Il tono è flaccido, per quanto riguarda le forze ha un 3/5 per il quadricipite, un 1/5 per la spalla, 2/5 al gomito e 0/5 per mano-polso. I giunti articolari sono liberi in tutti i movimenti, solo il polso è irrigidito ma probabilmente a causa di una microfrattura (ed edema conseguente). L'accessibilità è palmare e dorsale. Si procede con esercizi di mobilizzazione passiva e di riconoscimento delle posizioni.

- 94-enne, F, ha emiparesi sinistra (fase acuta), senza recidive. Il tono è flaccido (si ha iniziale ripresa solo nell'arto inferiore), la pz riesce ad eseguire alcuni movimenti contro gravità, ma senza completarli (3/5 per deltoide e bicipite, 2/5 per mano e polso). Gli esercizi sono simili ai casi precedenti.
- 76-enne, M, senza recidive, ha subito ictus emorragico a livello talamico (con interessamento cerebellare) sinistro il 20-05-10. Ha dimostrato una notevole capacità di recupero e, ad un mese dall'evento, l'arto destro ha sensibilità tattile assente, sensibilità propriocettiva scarsa e incapacità di mirroring con l'arto sano. Dal punto di vista motorio, la mano si presenta abbastanza distesa; quando il paziente non presta attenzione alla postura, la mano tende ad assumere la tipica conformazione della "mano talamica" (=flessione del polso e delle articolazioni metacarpo-falangee, iperestensione delle articolazioni interfalangee, divaricazione delle dita, flessione ed abduzione del polso); l'accessibilità è comunque garantita sia a livello palmare che dorsale. Durante gli esercizi il paziente dimostra dismetria, difficoltà di controllo e reclutamento massimale (non selettivo, invece) e segnala irrigidimento della mano quando sotto sforzo (più è difficile l'esercizio, prima la mano si irrigidisce). Gli esercizi proposti sono:

1. prendere delle formine alte 5 cm, estrarle dal contenitore e riporle nuovamente, per esercitare la presa a pinza. Il pz mostra buona capacità di controllo della mano, i giunti metacarpo-falangei e interfalangei di pollice e l'indice si muovono abbastanza autonomamente, anche se un po' a scatti, mentre le dita tendono a restare ferme, tese e vicine tra loro. Per analoghi scopi si chiede al pz di sollevare dal tavolo regoli di diverse dimensioni, quindi riappoggiarli ed aprire bene la mano: più grandi sono i cubetti, minore è la difficoltà mostrata (perché il movimento è meno selettivo). Il problema maggiore che si può presentare è il *pinch* corretto pollice-dita: il polpastrello del pollice, infatti, non va a toccare quello dell'indice, ma tocca lateralmente la falange del dito stesso.

3.2. LA PRATICA RIABILITATIVA: OSSERVAZIONE DIRETTA DI CASI CLINICI55

2. sollevare un peso cilindrico (circa 300g) ed appoggiarlo su dei ripiani alti (20, 30, 40 cm oltre al tavolo): questo esercizio permette di lavorare sopra la linea dell'equatore e, dunque, di esercitare insieme tutti i giunti articolari dell'arto superiore. Si richiede al pz particolare attenzione nella corretta esecuzione della power grip e, nel momento in cui deve rilasciare il peso, nel sollevare ed aprire bene la mano, evitando di trascinarla per gravità verso il tavolo. Lo stesso esercizio aumenta di difficoltà quando al posto del peso vengono utilizzati dei cubetti di spigolo 2cm.
 3. ricalcare con il dito indice (e mano completamente aperta) alcune traiettorie (ampio zig-zag, linea sinuosa, linea curva con occhielli) disegnate su un cartone 50x70 cm; il pz esegue bene l'esercizio, anche se dalla metà le dita tendono ad avvicinarsi, tese, e la mano ad irrigidirsi. Si notano maggiori difficoltà nel percorrere la traiettoria da sinistra verso destra, sia perché il pz copre il percorso ancora da fare con la mano estesa, sia perché riscontra (nel caso della linea con occhielli) maggiore difficoltà nel passaggio da abduzione ad adduzione che viceversa.
 4. eseguire alcuni compiti funzionali: versare dei chiodini da un bicchiere a un altro, spostare dei cubetti 1x1 cm dal tavolo al bicchiere, prendere in mano una penna..Il pz mostra discrete capacità di esecuzione, anche se ha difficoltà nelle prese fini (accentuata dalla completa insensibilità dell'arto).
- 68-enne, F, ictus ischemico dx circa due mesi fa, senza recidive. L'arto superiore non ha sensibilità né propriocezione, mentre è sensibile alla nocicezione; dal punto di vista motorio tende ad assumere uno schema "tuttaflessione" (grado 3-4 nella scala di Ashworth delle spasticità); i giunti articolari sono liberi (tutti tranne la spalla, che è dolorante) e con ROM ridotto (pochissima estensione del polso e delle dita, poco meglio in flessione). La mano, in c.n., si presenta rigidamente chiusa a pugno, con il pollice imprigionato nel palmo; l'accessibilità palmare è dunque pregiudicata (a meno di procedere ad un'apertura forzata). Innanzitutto, a pz distesa, si procede al-

l'apertura della mano: deve essere effettuata in modo molto lento e graduale, seguendo la cedevolezza tendinea (a questo proposito è bene ricordare che l'esecuzione di tali manovre a velocità maggiori produce reazione allo stiramento, con conseguente tendenza alla chiusura e irrigidimento della mano). Gli esercizi proposti, essendo nulla la forza che la pz è in grado di esercitare autonomamente, sono tutti di mobilizzazione passiva (procedendo in senso prossimo-distale, visti i dolori alla spalla) e stretching. Nell'ordine:

1. estensione delle dita della mano e mantenimento della posizione
2. flessione scapolo-omerale (sempre a pz distesa), sostenendo l'avambraccio da sotto il gomito
3. flesso-estensione del gomito, contemporaneamente a prono-supinazione del polso (come per portare la mano plegica a toccare la spalla omolaterale). Durante l'esecuzione, specie dell'estensione del gomito, la pz tende a muovere il tronco e ad alzare la testa, come ad accompagnare il movimento. Questo dimostra incapacità di controllo dei distretti e giustifica la scelta di una mobilizzazione puramente passiva.

In tutti gli esercizi, la fisioterapista fa attenzione a toccare il palmo ed i polpastrelli il meno possibile: essendo infatti anche la sensibilità completamente alterata, anche un piccolo stimolo su queste superficie altamente recettoriali scatena reazione allo stiramento, chiusura della mano, ecc.. Per questo motivo la presa delle dita viene effettuata quanto più possibile distalmente (quasi tirando le dita dalle unghie) e, per la mobilizzazione del polso, si prende la mano lateralmente.

- 83-enne, F, senza recidive, ictus ischemico subito da 3 settimane. Presenta paresi (=paralisi *parziale*, diversamente dalla *plegia*, che è completa) sinistra, con sensibilità superficiale e profonda conservate; il deficit è soprattutto funzionale, ovvero a livello di forza prodotta. Il tono è normale, non spastico né flaccido. Il ROM è paragonabile a quello della mano sana, anche se in quest'ultima risulta ridotto rispetto al normale a causa delle problematiche osteo-articolari (artrite) che la pz già presentava. La mano

3.2. LA PRATICA RIABILITATIVA: OSSERVAZIONE DIRETTA DI CASI CLINICI⁵⁷

è accessibile sia dal palmo che dal dorso. In questo caso, visto che il tono è normale e la sensibilità non eccessivamente alterata, è possibile lavorare con prese più decise ed esercitare pressioni più consistenti anche su palmo e polpastrelli. Gli esercizi proposti sono:

1. eseguire dei cerchi con il pollice; la terapeuta accompagna soltanto il movimento, prendendo il pollice dai lati, senza esercitare alcuna forza. L'esercizio è utile per il movimento di opposizione, fondamentale per i diversi tipi di prese.
2. flessione-estensione del pollice, con movimento interfalangeo.
3. prono-supinazione del polso, mimando l'arto sano, per evitare l'intorpidimento dell'avambraccio.
4. prensione di palline di gomma di diverso diametro (4-5-10 cm), poste sul tavolo a 50 cm dal corpo della pz. Il movimento viene accompagnato dalla terapeuta, sostenendo polso e gomito (anche per alleviare parte del peso del braccio stesso). Lo stesso esercizio viene eseguito utilizzando, al posto delle palline, dei cuscinetti più pesanti. Ogni due sacchetti si lascia alla pz qualche secondo di pausa, visto che mostra evidenti segni di affaticamento ed, inoltre, il movimento comincia ad essere a scatti. Questo esercizio, così come il seguente, viene effettuato per inserire la riabilitazione della mano all'interno di un pattern motorio più ampio, che coinvolga dunque il braccio tutto. E' stato infatti notato che la riabilitazione segmentaria della sola mano ha risultati meno duraturi ed efficaci.
5. tagliare con delle forbici un foglio di carta, con il gomito appoggiato sul tavolo; è un ottimo esercizio per stimolare il movimento di opposizione.
6. ricalcare (autonomamente o con accompagnamento), con il dito indice esteso e le altre dita chiuse, traiettorie disegnate su un cartone, a sua volta appoggiato su un piano inclinato di 30°.

PAZIENTE	ETÀ	SESSO		FASE		RECIDIVE		ARTO PLEGICO		TONO			ACCESSIBILITÀ	ROM°	FORZA*
		M	F	ACUTO	CRONICO	SI	NO	DX	SX	FLACCIDO	NORMO	SPASTICO			
1	78		✓	✓		✓	✓		✓	✓			✓	C	0/5***
2	69	✓		✓		✓		✓						N	0/5***
3	74		✓	✓									✓	C	4+/5****
4	64	✓			✓			✓					✓	R	4/5***
5	58		✓	✓				✓					✓	C	4+/5****
6	69	✓		✓(2m)									✓	R	1/5***
7	71	✓			✓			✓					✓	R	4/5***
8	80	✓			✓			✓					✓***	R	1/5***
9	63	✓			✓			✓					✓***	R	2/5***
10	65		✓		✓			✓					✓***	R	2/5***
11	68	✓		✓				✓					✓	C	4/5
12	83		✓	✓				✓					✓	R	0/5
13	71	✓		✓				✓					✓	R	0/5
14	64	✓		✓				✓					✓	C	1/5
15	74		✓	✓				✓					✓	C	0/5
16	67		✓	✓				✓					✓	C	1/5
17	86		✓	✓		✓		✓					✓	R	3+/5
18	80		✓	✓				✓					✓	C	2-/5
19	82		✓	✓				✓					✓	R	0/5
20	94		✓	✓				✓					✓	R	2/5
21	76	✓		✓(1m)				✓					✓	C	4/5***
22	68		✓	✓(2m)				✓					✓	N	1/5***
23	83		✓	✓				✓					✓	C	3/5***
TOT.COLONNA	-	10	13	17	6	2	21	12	11	10	7	6	21	-	-

*: Scala MRC

** : l'accessibilità potrebbe essere completa eliminando la rigidità da alcune dita (pollice soprattutto)

***: valutazione indicativa, sulla base di quanto osservato (non esplicitamente effettuata dal fisioterapista)

• ROM indicativo complessivo (polso + articolazioni dita lunghe + pollice)

C: completo (o quasi); R: ridotto; N: nullo (o quasi)

Figura 3.4: Dati statistici dei pazienti osservati (età, sesso, distanza temporale dall'evento vascolare, recidive, individuazione dell'arto plegico) e delle caratteristiche della mano di ciascuno (tono muscolare, accessibilità, range di movimento, forza)

In breve: conclusioni

I soggetti osservati presentano notevole varietà; una breve panoramica è in Tabella 3.4.

E' importante innanzitutto stabilire in quale fase si trova il paziente per scegliere i movimenti a lui più adatti. In tutta generalità, comunque, ciò che si può pensare di automatizzare sono soprattutto i movimenti della spalla (adduzione e abduzione, anche se non completa), eseguiti con lentezza, gradualità e mantenendo la posizione finale per alcuni secondi, permettendo al paziente di percepire la posizione dell'arto ed elaborare meglio il movimento eseguito. L'esercizio può essere ripetuto 8, massimo 10 volte. Stesso discorso vale anche per la mano: per il movimento di flessione-estensione del polso (estensione variabile a seconda dei casi, ma nella maggioranza dei casi non supera i 45°; flessione di 20/30°), di adduzione-abduzione (anche questi a range ridotto) e, per combinare i due, anche di circonduzione del polso stesso. Per le dita, è bene esercitare separatamente il pollice (che ha innervazione propria), soprattutto nel movimento di abduzione, e le altre dita tutte (che hanno un'innervazione più comune). Se l'esercizio è passivo (di norma, quindi, ci si trova in fase flaccida) si può pensare anche alla mobilizzazione delle singole dita lunghe (leggera flessione-estensione o adduzione-abduzione) dal momento che, anche se non sono movimenti funzionalmente rilevanti, potrebbero essere utili per mantenere la mappatura corticale delle aree dedicate alle dita stesse. Se si richiede invece un esercizio di tipo attivo (di flessione-estensione, ad es), è molto più difficile, anche nel soggetto normale, isolare il movimento volontario del singolo dito; è più opportuno invece concentrare gli sforzi sulla riabilitazione motoria del pollice e dell'indice, sia singolarmente, che coordinati nel movimento di presa a pinza (o pinch).

Gli esercizi, in linea di massima, puntano quindi a:

- Accelerare la comparsa e potenziare l'utilizzazione degli automatismi motori.
- Acquisire o riacquisire schemi posturali e motori evoluti, compatibilmente con la condizione del soggetto.

- Evitare movimenti attivi globali di tutto un segmento, posture ad impegno antigravitario eccessivo, esercizi contro resistenza, schemi motori che sfruttano l'irradiazione o reazioni associate.
- Stimolare i meccanismi di controllo: regolazione dell'intensità, della temporalità, della spazialità del movimento (anche nei movimenti passivi).

Dal punto di vista realizzativo, l'accessibilità della mano di quasi tutti i pazienti (si veda Figura 3.4) è sia palmare che dorsale; il dispositivo potrebbe dunque essere predisposto nella maniera che si preferisce; quasi tutti i terapisti sostengono polso e avambraccio da sotto, mentre per le dita cercano una presa più distale possibile; questo per evitare, soprattutto in caso di sensibilità alterata, reazioni di irrigidimento o contrazione non desiderate. Al contrario, se la sensibilità è buona, possono essere utili stimolazioni tattili continue, sia sul dorso che sul palmo della mano. Infine, ottimale sarebbe che il paziente riuscisse a vedere la propria mano che compie i movimenti (per attivazione dei neuroni specchio).

3.3 La riabilitazione robotica della mano

Diversi studi sono stati condotti per valutare l'efficienza della riabilitazione robotica, in relazione alla fisioterapia tradizionale; visti i buoni risultati ottenuti, negli ultimi tempi si è assistito ad un notevole aumento di interesse verso l'argomento, e parallelamente alla ricerca di apparecchiature sempre più adatte allo scopo. In questa sezione analizziamo i dispositivi ad oggi disponibili: Mit-manus, Bi-manu track, UHD, Pneu-WREX e HWARD sono principalmente rivolti alla riabilitazione del polso, mentre Amadeo, HIFE, Finger Motion Assist Device e Reha-digit focalizzano l'attenzione sulle dita.

3.3.1 Robot per la mano

MIT-Manus

Nel 1991 è stato realizzato questo dispositivo per studiare le possibilità riabilitative dell'arto superiore. Inizialmente dotato solo per spalla e gomito, è stato

successivamente aggiunto un modulo per la riabilitazione e l'esercizio del polso. [38]

Il modulo per il polso ha tre GDL: permette i movimenti di adduzione-abduzione ($30^\circ/30^\circ$), flessione-estensione ($60^\circ/60^\circ$) e pronazione-supinazione ($70^\circ/70^\circ$). Può essere utilizzato da solo o montato sulla punta del MIT-manus originario, avendo in quest'ultimo caso 5 GDL attivi e 2 passivi. Fondamentale è stata l'analisi dei tempi necessari ad "indossare" il dispositivo: anche per i malati più gravi, l'ultima versione permette di approntare tutto il necessario in meno di due minuti. Il pugno del paziente viene rilasciato lentamente, e la mano viene posta in posizione di power grip (Figura 3.5) attorno alla manopola, con i supporti minimo indispensabili.

Due aspetti tecnici devono essere considerati: l'impedenza complessiva del dispositivo e la forza esercitata dagli attuatori. Per il primo caso, il robot deve garantire bassi livelli di inerzia, attrito e rigidità: ovvero, durante il movimento il paziente deve avere la sensazione di non essere collegato ad alcunché. Nello specifico, i massimi valori di inerzia e attrito registrati sono, rispettivamente, $45 \times 10^{-4} kg \cdot m^2$ e $0.29/0.075 Nm$ (prono-supinazione/adduzione-abduzione). Le forze esercitate dal robot devono essere in grado di mantenere sollevata la mano del paziente, accelerare l'inerzia e adattarsi a diversi livelli di tono muscolare: la massima coppia esercitata è di $1.43 Nm$ per flesso-estensione e adduzione-abduzione, $1.85 Nm$ per la prono-supinazione.

Gli esercizi si basano sulla strategia "assisted-as-needed": viene proposto un primo set di esercizi (semplici video-game), che dovranno essere realizzati senza l'aiuto di alcuna forza da parte del robot. A questo punto viene proposto il secondo set di esercizi, durante i quali l'assistenza viene calibrata in base alla performance del paziente negli esercizi precedenti (senza assistenza). Questi ultimi richiedono di afferrare dei bersagli virtuali disposti su un'ellisse (semiasse maggiore: 60° ; permette la flesso-estensione. Semiasse minore: 30° : esercita l'abduzione/adduzione); l'ultimo set di esercizi si focalizza sulla prono-supinazione.

I risultati delle sperimentazioni hanno dimostrato che l'esercizio delle porzioni distali dell'atro superiore produce miglioramenti anche nelle porzioni prossimali; inoltre, pare che il miglioramento continui anche dopo che l'esercizio cessa (ad

esempio, è stato verificato questo effetto durante l'esercizio di spalla e gomito).

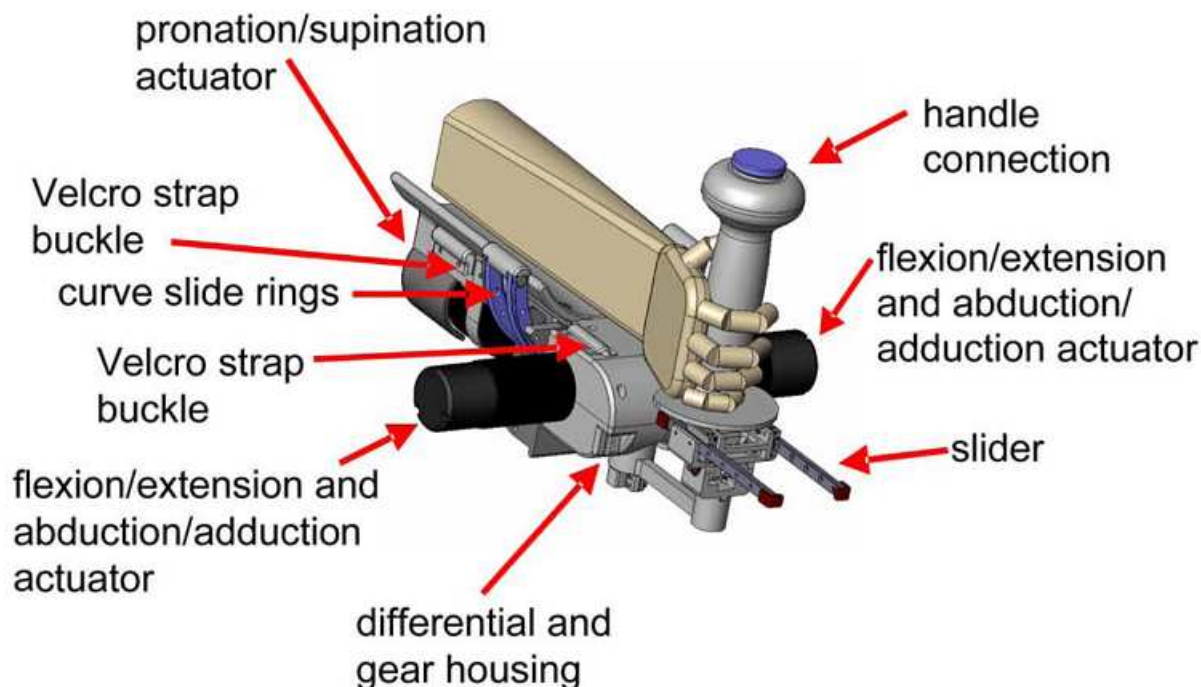


Figura 3.5: Vista 3D del modulo per la mano del MIT-Manus [38]

BI-MANU-TRACK

E' un dispositivo a 2 GDL per la riabilitazione del polso: permette di eseguire i movimenti di prono-supinazione e di flessione estensione, attraverso la ripetizione di due movimenti ciclici. Entrambe le mani sono legate ad un manubrio che si muove di moto rotatorio; gli esercizi possono essere "a specchio" (il paziente osserva la mano sana in uno specchio mentre compie i movimenti) o "paralleli" (entrambe le mani svolgono lo stesso movimento). Tre sono le modalità di controllo: passivo-passivo, attivo-passivo (la mano sana guida quella malata) e attivo-attivo (la mano malata deve superare una certa resistenza iniziale per poter eseguire il movimento).

Ogni mano afferra una manopola di 3cm di diametro e viene tenuta in posizione da uno strap in velcro di 6cm. Le due manopole sono collegate tra loro da un asse, connesso a sua volta al motore. Due sono gli esercizi possibili: uno permette la pronazione-supinazione dell'avambraccio grazie alla rotazione attorno

ad un asse orizzontale, l'altro garantisce il movimento di flessione-estensione attorno ad un asse verticale; per passare dall'uno all'altro, il paziente ribalta di 90° il dispositivo.[46]



Figura 3.6: Esercizi con BI-MANU TRACK[47]

Un dispositivo molto simile, che punta però sull'economicità di realizzazione, è Nudelholz: dispositivo a 3GDL (2 rotazioni e una traslazione) puramente passivi, prosegue nella linea di riabilitazione bilaterale e distale. L'aggiunta di un rivelatore di posizione e il suo (opzionale) collegamento con un PC permette di introdurre un feedback visuale nella terapia.

T-WREX/Pneu-WREX

Da WREX, un dispositivo inizialmente realizzato per aiutare bambini con disabilità manuali ad eseguire attività della vita quotidiana, è stato realizzato T-WREX (Training WREX): è un dispositivo a 5 GDL, completamente passivo (aiuta sol-

tanto a sostenere il peso del braccio), backdriveable, consente di realizzare movimenti in uno spazio piuttosto ampio, che copre il 66% del normale spazio di lavoro sul piano orizzontale e il 72% su quello verticale. Gli esercizi sono proposti in forma di giochi virtuali, orientati al recupero funzionale: afferrare oggetti su scaffali immaginari, lavare i piatti, mangiare, lavare l'altro arto, prendere delle uova e romperle in un paniere.. L'impressione è che i soggetti siano in questo modo maggiormente motivati nell'eseguire gli esercizi. [36]

Nonostante i vantaggi che il T-WREX offre (basso costo di realizzazione, sicurezza in primis), esso ha diversi limiti: ad esempio, non riesce ad accompagnare tutti i movimenti che il paziente potrebbe voler eseguire e può applicare soltanto un set di forze predefinite, mentre le ricerche più recenti suggeriscono che pattern di forza più variegati potrebbero migliorare il recupero della motricità. Per questi motivi è stato realizzato Pneu-WREX, che unisce al potenziale di T-WREX gli aspetti positivi degli attuatori pneumatici: essi sono infatti in grado innanzitutto di assistere il movimento (assist-as-needed control), di mantenere forze molto elevate senza eccessivo spreco di energia (basta infatti chiudere una valvola), ed inoltre garantiscono una migliore "backdriveability" e un maggior controllo del movimento.



Figura 3.7: Pneu-WREX [36]

HWARD

HWARD (Hand Wrist Assistive Rehabilitation Device) è un dispositivo a 3 GDL che assiste (tramite attuatori pneumatici) la mano nel movimento di “grasp and release”: consente quindi la flessione-estensione delle dita (tutte insieme), del pollice e del polso. Il soggetto viene fatto sedere di fronte ad un monitor; la mano viene assicurata al robot tramite delle morbide strisce di velcro, e l'avambraccio è assicurato ad un altro supporto. L'aspetto più interessante di HWARD è che il palmo della mano viene lasciato completamente libero, fatto che stimola non solo la motivazione, ma anche il potenziamento sinaptico a lungo termine. Studi su pazienti con sensibilità e motricità limitata hanno dimostrato che l'esercizio con questo dispositivo favorisce, per quanto riguarda il grasp, l'attivazione delle aree cerebrali corrispondenti all'arto malato. Inoltre, nel lungo termine, è stato riscontrata una maggiore attivazione anche di alcune aree motorie controlaterali. [33] Inoltre, è stato rilevato un miglioramento del ROM del 17%. [48]



Figura 3.8: HWARD[33]

UHD

I dispositivi appena elencati sono realizzati per consentire in misura maggiore l'esercizio o del braccio o della sola articolazione del polso. Alla fine del 2009

è stata quindi proposta questa apparecchiatura, che consente la riabilitazione dell'arto superiore in due diverse modalità, ARM e WRIST: con la prima l'UHD focalizza l'attenzione sul movimento di spalla e gomito, proponendo esercizi di "arm-reaching"; la modalità WRIST coinvolge invece l'avambraccio e il polso.

Si tratta di un dispositivo aptico con attuatore a 2 GDL: la mano è agganciata ad una maniglia, maniglia che può sia muoversi nella posizione desiderata (in ARM mode) sia restare fissa e modificare la propria orientazione (per favorire tutti i movimenti del polso). Un ulteriore vantaggio della maniglia orientabile è che, in questo modo, il robot può essere utilizzato sia per il braccio destro che per quello sinistro. Il polso è in realtà capace di 3 GDL: l'UHD non è in grado di permettere tutti e tre i movimenti del polso contemporaneamente, ma si sostiene che ruotando la posizione iniziale della maniglia (orizzontale o verticale) si possano comunque esercitare tutti i movimenti, sebbene in maniera alternata. I ROM permessi sono i seguenti: $< 15^\circ$ di inclinazione laterale, limite determinato dal giunto sferico inserito tra base ed attuatore; in ARM mode, $\pm 20\text{cm}$ in tutte le direzioni; in WRIST mode, $\pm 45^\circ$ di rotazione della maniglia rispetto alla posizione iniziale.

L'attuatore è costituito da due motori alimentati in continua, connessi in serie tramite molle elastiche. Le componenti elastiche sono indispensabili sia per garantire il movimento orizzontale della barra (altrimenti impossibile a causa di lunghezze incompatibili), sia per ottenere migliori prestazioni in termini di forza (maggior tolleranza agli shock, minore inerzia, controllo delle forze più preciso e stabile). La massima forza applicabile sulla maniglia è di 75N, mentre la massima coppia prodotta è 20 Nm (in wrist mode). La strategia di controllo della forza prodotta si basa sul controllo dell'impedenza: questo significa che si definisce la forza in termini di impedenza virtuale dell'UHD; i due casi estremi sono le situazioni di LOW IMPEDANCE (= il paziente non deve percepire alcuna resistenza. La forza esercitata in questo caso è di 2.5N(ARM)/0.5Nm(WRIST)) e di HIGH IMPEDANCE (=massima forza resistente applicata, ad esempio per evitare che il paziente muova il dispositivo in una certa direzione. Il soggetto percepisce una forza di circa 45N(ARM)/8Nm (WRIST)).

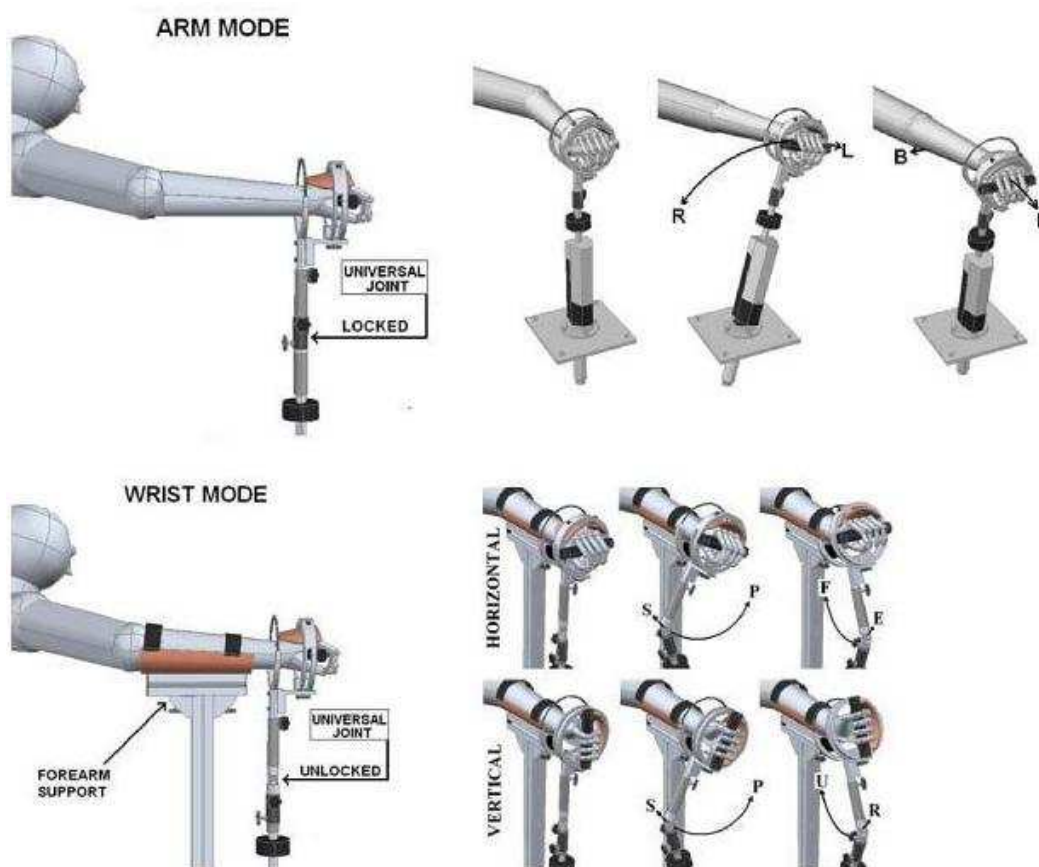


Figura 3.9: In alto: configurazione del meccanismo in ARM mode. Il paziente può muovere il braccio a destra (R) o sinistra (L), in avanti (F) o all'indietro (B). In basso: WRIST mode. Partendo con la maniglia in orizzontale, il paziente esercita il movimento di prono-supinazione (P-S) e di flesso-estensione (F-E); disponendo la maniglia in verticale, invece, può eseguire ancora la prono-supinazione, ma questa volta abbinata all'abduzione-adduzione (U-R). [49]

3.3.2 Robot per le dita

Il trattamento riabilitativo anche delle dita, inizialmente poco considerato, non è del tutto da escludere. Alle dita, infatti, è dedicata una vasta area corticale e una loro immobilizzazione da paresi produrrebbe una riorganizzazione troppo a favore delle porzioni prossimali. Conseguentemente si genererebbe, nel lungo termine, forte spasticità delle dita stesse. [50]

Reha-Digit

Il dispositivo è costituito da 4 cilindri mutuamente indipendenti, ciascuno fissato eccentricamente all'asse motrice principale, formando una specie di albero a camme. Ogni cilindro ha una superficie concava, per massimizzare l'area di contatto tra dito e cilindro stesso. Due cilindretti più piccoli per dito, concavi anch'essi, tengono il dito in posizione, esercitando una forza sul dorso grazie a delle molle elastiche che "tirano" verso il cilindro principale. Ciascuna coppia di cilindretti si muove ortogonalmente all'asse di rotazione di quest'ultimo. Una barra parallela a tale asse di rotazione permette di mantenere la mano nella posizione ottimale; per garantire ulteriore stabilità, può essere utilizzato un elemento (spostabile, per poter funzionare con entrambe le mani) in grado di agganciare il pollice. L'avambraccio viene sostenuto da un supporto.

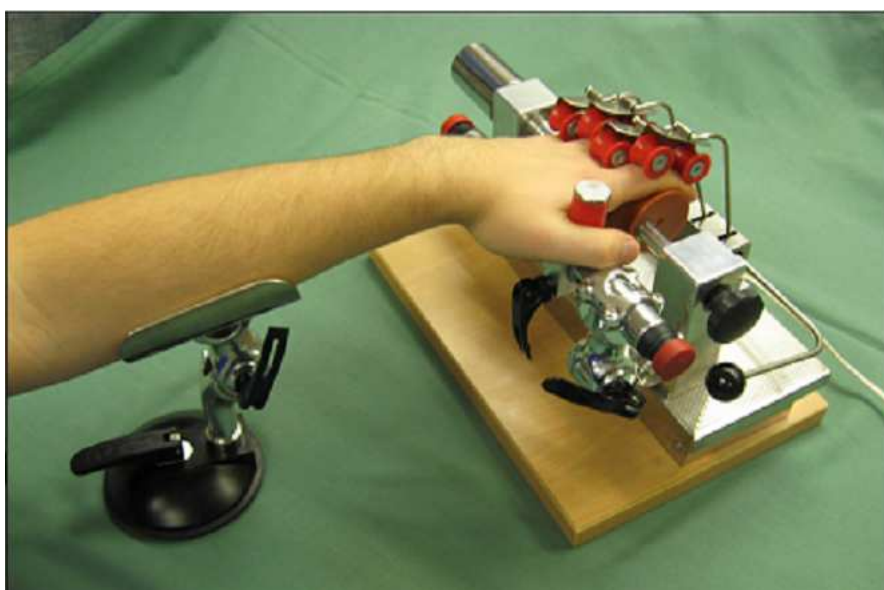


Figura 3.10: Reha-Digit in funzione su paziente emiparetico [50]

Il motore (24V DC) produce una rotazione dell'asse principale fino a 30 giri al minuto; l'asse smette di ruotare se la mano si contrae in maniera eccessiva. Un piccolo dispositivo situato alla base stimola le dita vibrando a diverse frequenze (da 0 a 30 Hz).

Il dispositivo, nella sua forma attuale, è limitato dal momento che permette il solo movimento passivo delle dita. E' comunque utile per i pazienti con disabilità

severe, in quanto è stato dimostrato che anche una stimolazione senso-motoria puramente passiva aumenta l'eccitabilità cortico-spinale e induce potenziamento a lungo termine delle sinapsi. Con questo fine, oltre che aggiungere il dispositivo in grado di produrre vibrazioni (che stimola in primo luogo i corpuscoli di Pacini delle falangi distali), sono stati condotti esperimenti introducendo, sulla superficie concava dei 4 cilindri principali, delle strisce di tessuti diversi che il paziente doveva riconoscere.

Nei pazienti cronici, il dispositivo non ha portato a miglioramenti significativi nei movimenti attivi, ma ha permesso di ridurre la spasticità di dita e polso e, di conseguenza, la resistenza delle dita al movimento passivo. In fase sub-acuta, invece, si sono riscontrati miglioramenti più consistenti, sempre però nel movimento passivo.[50]

Amadeo

Amadeo è un dispositivo che consiste di 6 slitte lineari (una per ogni dito + una per il pollice destro + una per il pollice sinistro) su ciascuna delle quali viene legato un dito tramite contatti magnetici e bande in velcro. Può essere utilizzato sin dalle prime fasi post-stroke, poiché è dotato sia di un modulo per l'esercizio passivo (CPM-therapy), ma è anche in grado di misurare la forza attivamente esercitata dalle dita del paziente e, quando questi ha guadagnato maggior motricità, permette di iniziare anche un programma di terapia attiva assistita; la forza massima che il motore è in grado di esercitare è di 50N. Consente il movimento indipendente di tutte le dita e l'imitazione del naturale movimento di presa ($0 - 180^\circ$), del tip-pinch, della prono-supinazione della mano.[51]

Può essere collegato ad un monitor, il quale visualizza in tempo reale dei risultati e fa girare i programmi di esercizio diversificati per paziente (attivo, passivo, assistito, con calibrazione di forza, velocità ed escursione articolare..).



Figura 3.11: Amadeo[52]

Il sistema è stato testato con successo in più di un centinaio di pazienti alla clinica di Judendorf-Strassengel;[52] in Italia, è stato descritto un caso clinico osservato all' Istituto Privato di Riabilitazione Madre della Divina Provvidenza (Arezzo)[53]: sebbene risultati scientificamente provati dell'efficacia del robot non siano ancora disponibili in adeguato numero, ciò che fino ad ora è stato raccolto pare incoraggiante.

HIFE

Dispositivo aptico (ovvero, un robot studiato per interagire direttamente con l'operatore umano) a 2 GDL in grado di generare forze fino a 10 kg, tali cioè da garantire un buon livello di esercizio per le dita.[54] È costituito dal meccanismo aptico vero e proprio, un PC e un'unità di controllo realizzata ad hoc. (Figura 3.12)

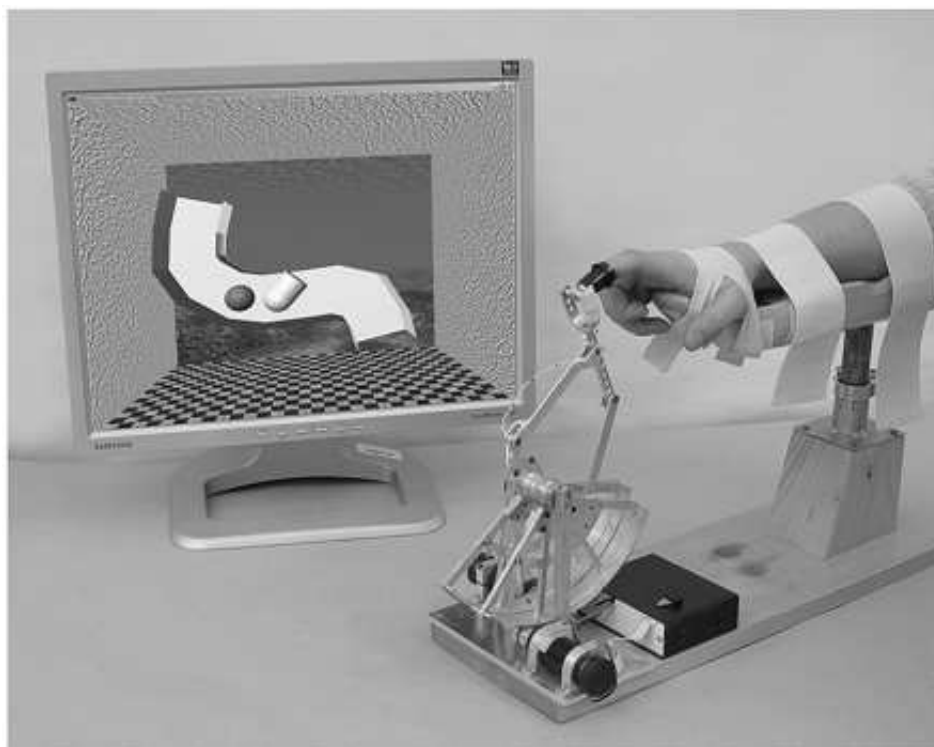


Figura 3.12: Prototipo di HIFE [54]

Il PC permette di analizzare visivamente la progressione del movimento; sono pre-impostati cinque diversi esercizi da poter svolgere. La CPU esterna è appositamente realizzata per controllare da un lato il PC, dall'altro il dispositivo. L'haptic device è un meccanismo a 4 GDL, due attivi e due passivi; è formato da due motori, alimentati in continua (relazione lineare corrente-momento).

Il dispositivo è stato testato con buoni risultati in un gruppo di pazienti post-ictus: in particolare, gli esercizi si sono rivelati decisamente adatti per soggetti con problemi neuromuscolari. Il futuro per questo dispositivo è implementare un analogo meccanismo anche per le altre dita.

Finger Motion Assist Device

Dispositivo presentato nel 2005 per riabilitare tutte le dita singolarmente, pollice compreso. È in grado di realizzare movimenti bidirezionali (estensione/flessione) per ogni dito, oltre che adduzione/abduzione e movimento di opposizione del

pollice. Ha 16 GDL, 3 per ogni dito (4 per il pollice), più un modulo a 2 GDL per la riabilitazione del polso.

Consta di tre parti fondamentali: il dispositivo per il movimento vero e proprio, una base mobile e un meccanismo per il movimento del polso (Figura 3.13)

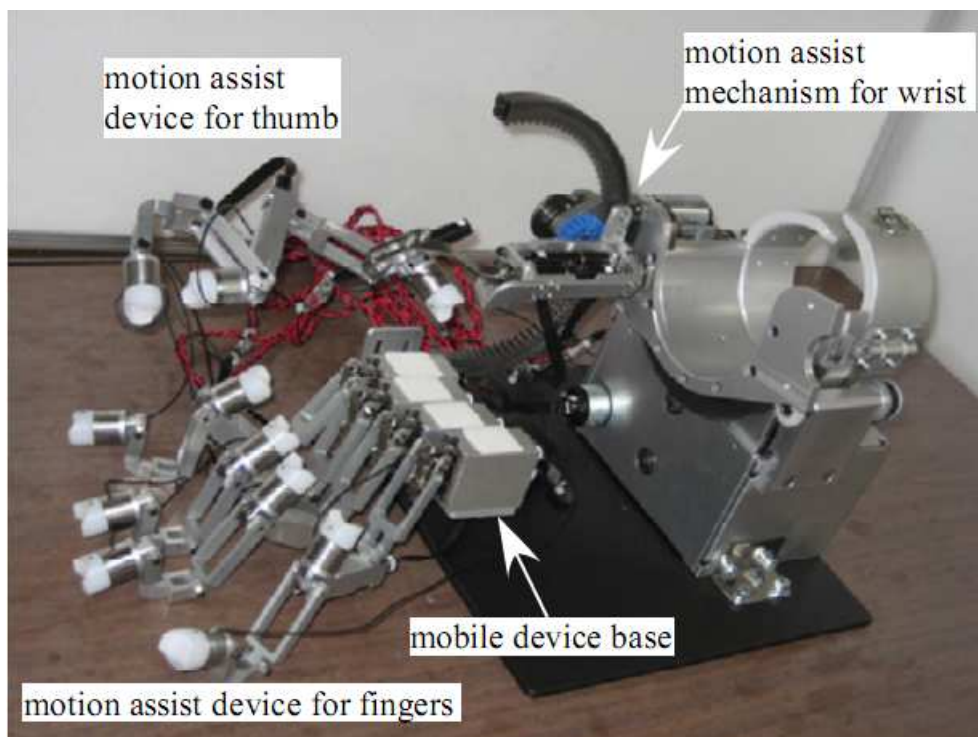


Figura 3.13: Schema del Finger Motion Assist Device [12]

Il motion assist device per ciascun dito è costituito da 4 motori, due collocati sul giunto MP (permettendo flessione-estensione e adduzione-abduzione) e altri due sulla catena poliarticolata. Per ridurre il numero di gradi di libertà del dispositivo, viene qui sfruttato il fatto che i giunti DIP e PIP si muovono sostanzialmente insieme. Il dispositivo si lega alla parte dorsale del dito (falangi prossimale e intermedia) e nel dorso della mano tramite strappi in velcro. (Figura 3.14)

In virtù delle caratteristiche del pollice, il meccanismo in questo caso è leggermente diverso: viene infatti aggiunto un secondo motore a livello di giunto CM, in grado di realizzare il movimento di adduzione/abduzione.

Il meccanismo per il polso è realizzato usando due ulteriori motori; permette la flessione-estensione e la pronazione/supinazione della mano.

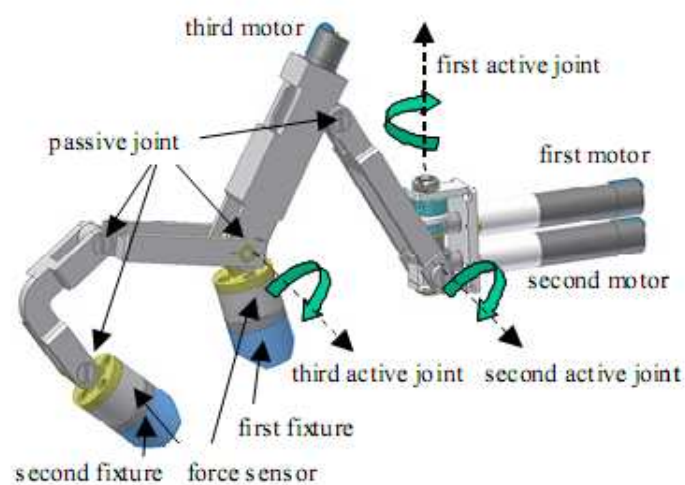


Figura 3.14: Finger motion assist device [12]

Esoscheletro

Nel 2009 è stato presentato a Minneapolis un nuovo esoscheletro a 4 gradi di libertà per la riabilitazione del dito indice [27]. E' in grado di generare movimenti bidirezionali, adattandosi a mani di diverse dimensioni e con *range of motion* modificabili; quest'ultimo aspetto è molto interessante, poiché permette di cambiare il movimento parallelamente al miglioramento delle capacità motorie del paziente.

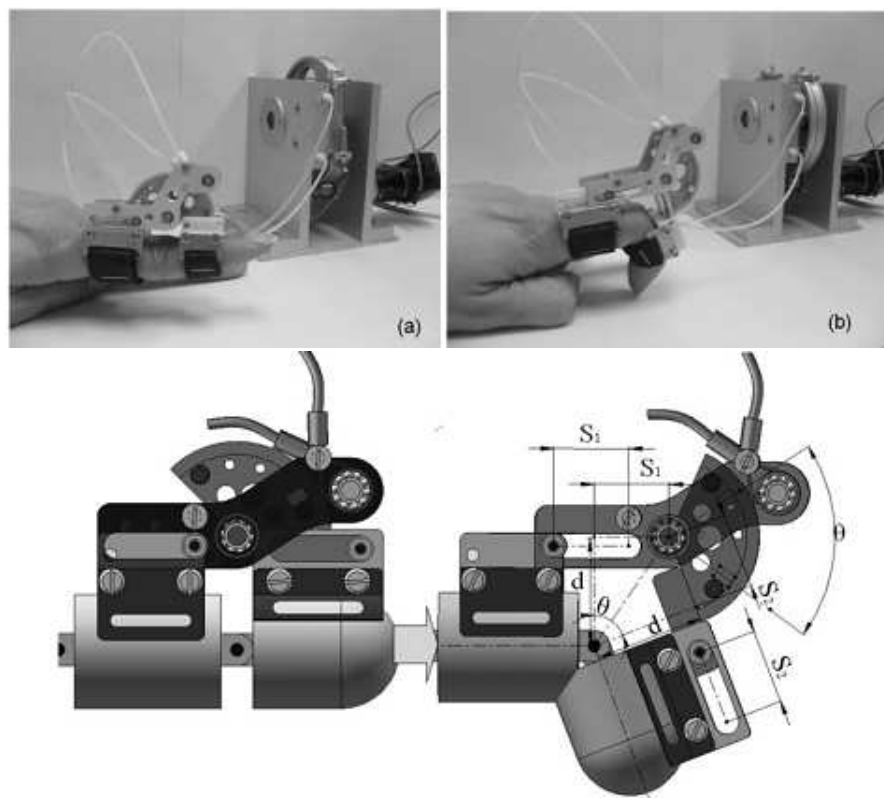


Figura 3.15: In alto: prototipo del dispositivo. In basso: esempio di movimento del giunto interfalangeo distale. [27]

L'intero sistema può essere diviso in due parti: un attuatore e un esoscheletro, connessi tramite cavi ricoperti di Teflon (per ridurre al minimo la frizione). L'attuatore guida il movimento bidirezionale di una ruota per realizzare la flessione e l'estensione del dito. Per limitare il peso che il dito deve sostenere, questo modulo è separato dall'esoscheletro vero e proprio. L'esoscheletro, montato quasi completamente sul retro del dito (per evitare interferenze con altre dita e non limitare il movimento), è costituito da 4 moduli, uno per falange (due per il giunto metacarpofalangeo); ogni modulo ha un grado di libertà. Per garantire l'adattamento a falangi di lunghezza diversa viene utilizzato un meccanismo a scorrimento (fore slider), mentre per adattare il range of motion alle capacità motorie del paziente si può modificare la posizione di alcuni *stop pins* presenti nel blocco rotante.

Guanti aptici

Rutgers masters, CyberGraspr e i guanti aptici recentemente sviluppati sono l'ultima alternativa ad oggi disponibile per la riabilitazione della mano. Hanno il vantaggio di seguire i movimenti delle dita con grande precisione, ma il principale limite è che vanno indossati integralmente, cosa che potrebbe risultare difficoltosa in pazienti con marcata spasticità.

Capitolo 4

Validazione clinica

La valutazione della bontà di un trattamento riabilitativo è comunemente accettata come uno dei punti cardine del trattamento stesso. In questo capitolo analizzeremo quali sono le più diffuse scale per la valutazione dell'outcome, descrivendo per ciascuna le caratteristiche principali, l'applicazione, l'affidabilità e la validità.

Fugl-Meyer Assessment Scale (FMA o FMAS)

La sezione “arto superiore” della Fugl-Meyer Assessment Scale è forse la più utilizzata nella valutazione della riabilitazione post-ictus. La documentazione originale che descrive questa scala di misura è stata pubblicata nel 1975 dallo *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*: il metodo proposto fu considerato molto interessante, poiché in grado di adattarsi ai diversi approcci fisioterapici; prima di esso, le valutazioni del recupero avvenivano in maniera empirica, oppure si basavano sulla valutazione del recupero delle attività della vita quotidiana (es. Barthel Index). D'altra parte, i documenti originali sono piuttosto complessi e, talvolta, ambigui. Seguendo la linea di studi precedenti, riportiamo qui le linee guida semplificate per l'utilizzo di questa scala.[55]

La FMAS innanzitutto si basa sull'ipotesi di un recupero motorio “ontogenico”, secondo il quale tutti i pazienti reduci da stroke attraversano una sequenza prevedibile di stadi di recupero, sequenza simile a quella che si può osservare nello sviluppo normale: da una fase iniziale di flaccidità si passa, infatti, al movimen-

to volontario, che diventa a sua volta progressivamente indipendente da pattern specifici.

Per quanto riguarda la scala di valutazione vera e propria, il punteggio complessivamente raggiungibile dal soggetto è 226. I punti sono suddivisi in questo modo: 100 punti sono utilizzati per la valutazione delle funzioni motorie (66 per l'arto superiore e 34 per quello inferiore), 24 alla sensibilità (tocco leggero e senso dell'orientamento), 14 all'equilibrio (6 per l'equilibrio da seduto e 8 da in piedi), 44 al ROM dei giunti articolari e 44 alla valutazione del dolore articolare.[56] Andando ad analizzare più in dettaglio la sezione per l'arto superiore, essa può quindi complessivamente ottenere un punteggio variabile tra 0 e 66 punti; vengono valutati 33 item (es. riflessi, osservazione del movimento, test di presa, coordinazione..), e ciascun item può ottenere un punteggio variabile tra 0 e 2. In generale:

0 : incapacità totale nell'esecuzione del movimento richiesto

1 : in grado di realizzare solo in parte il movimento

2 : completamente in grado di realizzare il movimento

Spesso si utilizzano delle versioni più rapide della FMAS, come quella riportata in Figura 4.1.

Concludendo, questa scala è largamente accettata per la validazione clinica; può essere lungo completare l'analisi di tutti gli item, perciò spesso si ricorre all'analisi solo della specifica porzione interessata. I test sono semplici da realizzare, non richiedono apparecchiature specifiche ma devono essere realizzati "face-to-face", dal momento che l'assegnazione dei punteggi si basa sull'osservazione diretta del movimento.

Barthel Index (BI)

Il Barthel Index of Activities of Daily Living, come già accennato, fu originariamente inteso come un semplice indice di indipendenza, in grado cioè di quantificare la capacità di un paziente con disabilità di prendersi cura di se stesso.

Nella sua prima versione, prevedeva un punteggio complessivo tra 0 e 20. E' tuttavia oggi più utilizzata nella sua versione modificata da Granger et al. nel

1	Stabilità del polso (gomito a 90°)	0 : la dorsiflessione (15°) non viene eseguita 1 : la dorsiflessione viene eseguita ma non a fronte di resistenza 2 : la posizione viene mantenuta anche a fronte di una leggera resistenza
2	Flesso-estensione del polso (gomito a 90°)	0 : nessun movimento volontario 1 : movimento volontario ma non entro il range totale 2 : movimento completo
3	Stabilità del polso (gomito non flesso)	0 : la dorsiflessione non viene eseguita 1 : la dorsiflessione viene eseguita ma non a fronte di resistenza 2 : la posizione viene mantenuta anche a fronte di una leggera resistenza
4	Flessione/estensione del polso (gomito non flesso)	0 : nessun movimento volontario 1 : movimento volontario ma non entro il range totale 2 : movimento completo
5	Circonduzione del polso	0 : movimento non realizzato 1 : il movimento è a scatti o incompleto 2 : il movimento viene realizzato in modo completo e adeguato
6	Flessione totale	0 : nessuna flessione 1 : parziale flessione attiva delle dita 2 : flessione completa delle dita (valutata rispetto alla mano sana)
7	Estensione completa	0 : nessuna estensione 1 : riesce a rilasciare il pugno 2 : estensione completa (valutata rispetto alla mano sana)
8	Afferrare un dito	0 : la posizione richiesta non riesce ad essere raggiunta 1 : presa debole 2 : presa mantenuta a fronte di una resistenza
9	Presa attraverso adduzione del pollice	0 : la presa non viene realizzata 1 : il foglio di carta viene tenuto in posizione, ma non vi resta se tirato 2 : il foglio di carta è tenuto saldamente, anche se tirato improvvisamente
10	Presa tra pollice e indice	0 : la penna (=oggetto di presa) non viene tenuta in mano 1 : la penna viene tenuta in mano, ma non vi resta se tirata 2 : la penna è afferrata saldamente
11	Afferrare un oggetto cilindrico	0 : l'oggetto cilindrico non viene afferrato 1 : l'oggetto viene afferrato, ma non saldamente 2 : l'oggetto è afferrato saldamente
12	Afferrare un oggetto sferico	0 : l'oggetto sferico non viene afferrato 1 : l'oggetto viene afferrato, ma non saldamente 2 : l'oggetto viene afferrato saldamente

Figura 4.1: Fugl-Meyer Assessment scale per polso (1-5) e mano, con particolare attenzione ai movimenti del pollice[55]

1979: vengono ora analizzate 10 attività della vita quotidiana e a ciascuna viene attribuito un punteggio, tecnicamente arbitrario, in base al livello di indipendenza mostrato. Le attività considerate sono: alimentazione, fare il bagno, igiene personale, vestirsi, controllo della defecazione, controllo della vescica, uso del bagno, trasferimenti sedia/letto, deambulazione e salire le scale.[57]

Grazie alla sua longevità, il BI è ancora uno degli indici più utilizzati, nonostante i criteri di valutazione siano piuttosto approssimativi e soggettivi.[58]

Per il caso specifico della mano, può essere utile conoscere il BI conseguito in alcune specifiche attività.

Action Research Arm Test (ARAT)

Si tratta di un test osservazionale utilizzato per determinare la funzionalità del solo arto superiore. Fu introdotto nella sua forma definitiva nel 1981, come modifica di un test precedente (UEFT).

Il test può essere realizzato in una decina di minuti; a differenza del FMA, necessita di oggetti particolari per essere realizzato (blocchi di legno di varie dimensioni, palle e sfere di diverso diametro, sassi, blocchetti di marmo..). Il test non richiede, come i due precedenti indici, personale altamente qualificato per poter essere realizzato.

Vengono valutati 19 movimenti (raggruppati nelle sottocategorie: grasp, grip, pinch e movimenti macroscopici del braccio) e a ciascuno viene assegnato un punteggio tra 0 e 3:

0 : nessun movimento

3 : movimento realizzato normalmente

Se il soggetto esegue correttamente l'esercizio più difficile di ciascuna sottocategoria, vengono automaticamente assegnati 3 punti a ciascuno dei sotto-test della categoria stessa; altrimenti, si procede con il secondo test in ordine di difficoltà, e così via per tutte le sottocategorie. In totale, il punteggio massimo conseguibile è 57 ($19 * 3$).[59]

I vantaggi di questo test sono la relativa semplicità di realizzazione, la non-necessità di personale qualificato e, soprattutto, il fatto che copra tutti gli aspetti della funzionalità dell'arto superiore, inclusa la capacità di manipolazione de-

gli oggetti. Lo svantaggio principale è che nei casi limite (disabilità grave o soggetto quasi normale) il test non discrimina perfettamente variazioni nelle prestazioni.[56]

Patient Rated Wrist Evaluation (PRWE)

E' un test molto specifico, poiché permette di valutare la disabilità del solo polso. Analizza 15 elementi: 5 riguardano il dolore riferito al polso, gli altri 10 la sua capacità funzionale.[59]

A differenza dei test precedenti, il PRWE non si basa sull'osservazione diretta del movimento ma su una serie di domande: il paziente stesso è chiamato a valutare, con un numero da 0 a 10, il livello di dolore e di funzionalità riscontrati:

0 : nessun dolore/nessuna difficoltà ad eseguire i movimenti

10 : dolore continuo/ incapacità totale di eseguire una certa attività

Viene ad esempio richiesto di giudicare il livello di dolore a riposo, durante un movimento ripetuto o sollevando un oggetto pesante; per quanto riguarda la funzionalità, si indaga la capacità di eseguire diversi movimenti, dai più semplici (girare una maniglia, usare l'asciugamano..) ai più complessi (abbottonare un bottone, tagliare un pezzo di carne, fare i lavori di casa..). [60]

Il test è semplice da eseguire, breve e facile è l'attribuzione del punteggio. Le domande, selezionate con cura, sono state giudicate un buon punto di riferimento sia dagli sviluppatori del test, sia da ricercatori indipendenti. Dal momento che spesso una disabilità del polso si accompagna a disabilità della mano tutta, il test è stato successivamente esteso al polso/mano: le domande sono identiche (con le ovvie sostituzioni), così come i punteggi possibili.

DASH

Questo indice, simile al precedente quanto a struttura, è stato introdotto per la prima volta nel 1996: il suo obiettivo primario era valutare l'outcome riabilitativo, considerando la mano come un'unica entità funzionale. Il test è in forma di questionario: 30 sono le domande proposte, che valutano i sintomi e la funzionalità della mano assegnando un punteggio variabile da 1 a 5 per ogni domanda[61]

1: nessuna difficoltà

5: incapacità di realizzare il movimento richiesto[62]

Il test si è rivelato affidabile ed in grado di ben descrivere i cambiamenti nelle condizioni del paziente.

Wolf Motor Function Test (WMFT)

Nato per valutare gli effetti da uso forzato dell'arto nei pazienti post-stroke, è stato poi largamente utilizzato per valutare il grado di riabilitazione dell'arto superiore in una più ampia gamma di situazioni.[63] Può essere realizzato soltanto in laboratorio e consta di 15 movimenti da valutare, alcuni cronometrati (WMFT time), altri no, tutti che rispecchiano la funzionalità dell'arto (WMFT FAS). Il tempo massimo permesso per l'esecuzione di un task è di 120 secondi; per valutare la capacità funzionale, invece, si utilizza una scala da 0 a 5:

0: nessun tentativo con il braccio affetto

5: il braccio partecipa/il movimento appare normale

Box-and-blocks test (BBT)[56]

Questo test, risalente al 1957 nella sua forma originaria, misura la destrezza manuale. Il paziente, seduto ad un tavolo, ha di fronte una scatola rettangolare divisa in due compartimenti identici, in uno dei quali vengono posti dei cubetti di legno colorati (2.5x2.5x2.5 cm). Il soggetto deve spostare quanti più cubetti possibile da un compartimento all'altro, in un tempo di 60 secondi (figura 4.2).

Alla fine del test si contano i cubetti spostati, ricordando che viene assegnato un solo punto anche se più blocchi sono stati trasportati contemporaneamente e che la mano del paziente deve superare la barriera tra le due partizioni perché il punto sia valido.



Figura 4.2: BBT equipment [64]

Il test si realizza in poco meno di 5 minuti e non necessita di personale qualificato. I vantaggi sono la sua diffusione, la velocità e la semplicità di somministrazione, oltre al fatto che possa essere accessibile ad un gran numero di pazienti (vista la posizione seduta). descrive inoltre efficacemente il livello di salute del paziente.

Lo “svantaggio” principale potrebbe essere la rumorosità di esecuzione (es.se i blocchetti vengono lasciati cadere), con conseguente disagio per i pazienti circostanti.

THE 9 -HOLE PEG TEST

Test di valutazione della destrezza digitale fra i più diffusi. Consiste nel raccogliere 9 piccoli pioli ed inserirli all'interno di altrettanti fori realizzati su una base di legno. Una volta completato l'inserimento, viene richiesto al paziente di riporre i

pioli nel minor tempo possibile (figura 4.3). Vengono eseguite due misurazioni per ciascuna mano. E' un test a tempo, dotato di buona affidabilità e buona validità.

I vantaggi sono la semplicità, la portabilità, la brevità e la sensibilità alle variazioni nella performance.

Lo svantaggio principale di questo, come di tutti gli altri test a tempo, è che valuta la velocità con cui viene svolto un compito, ma non è detto che, seppur con una minor velocità, il paziente non esegua comunque correttamente il compito assegnato. Non è inoltre particolarmente utile quando il livello di disabilità è grave. Infine, nonostante la letteratura offra i valori medi conseguiti nel test, è stato dimostrato che tali valori si discostano da quelli ottenuti utilizzando le diverse versioni del test oggi in commercio. [65][56]

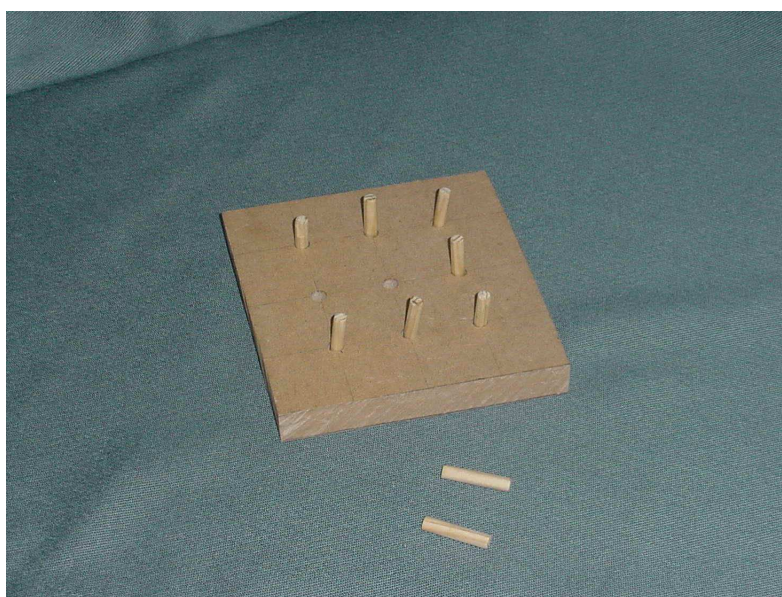


Figura 4.3: NHPT[66]

Test d'Evaluation de la performance des Membres Supérieurs des Personnes Âgées (TEMPA)

La versione originale di questo test comprende l'esecuzione di 5 task bilaterali (aprire un barattolo e prendere una cucchiainata di caffè, aprire un lucchetto, sollevare ed aprire una bottiglietta di pastiglie, scrivere su una busta ed applicare il francobollo, avvolgersi una sciarpa attorno al collo e mescolare/distribuire

delle carte da gioco) e 4 task da eseguire con una sola mano (prendere e sollevare un barattolo, sollevare una caraffa e versare un bicchiere d'acqua, prendere delle monete e afferrare/spostare piccoli oggetti). L'equipaggiamento necessario è mostrato in figura 4.4.



Figura 4.4: Banco di test con gli oggetti utilizzati nei diversi task [67]

Il punteggio assegnato a ciascuna performance va da 0 a -3:

0 : il compito viene eseguito senza alcuna difficoltà

-1 : il compito viene nel complesso eseguito, ma con qualche difficoltà

-2 : il compito viene parzialmente eseguito, o alcuni step vengono realizzati con notevole difficoltà

-3 : il soggetto non riesce ad eseguire il compito, nemmeno sotto assistenza

Complessivamente vengono eseguiti 13 test (5 bilaterali+4 con la sola mano destra+4 con la sola mano sinistra), e di ognuno si valuta la forza impressa, il ROM, la precisione dei movimenti macroscopici, la stabilità della presa e la precisione dei movimenti di precisione. Il punteggio attribuibile ad ognuno di questi utimi 5 parametri varia tra 0 (il soggetto esegue perfettamente tutti gli esercizi) e -39 (il soggetto non riesce ad eseguire alcun esercizio).

Il test è molto diffuso ed è stato dimostrato essere valido e affidabile. Il tempo complessivamente necessario per eseguirlo va da 15 a 45 minuti. [67]

Jebsen Test of Hand Function (JTHF) [68]

Il test, sviluppato nel 1969, valutava inizialmente 7 elementi, cui ne sono stati recentemente aggiunti altri 3. Fu realizzato per avere a disposizione un test breve ed oggettivo della funzionalità della mano nelle ADL.

Consiste, come già detto, in 7 esercizi: copiare una frase di 24 lettere, scoprire delle carte da gioco, sollevare piccoli oggetti (graffette, tappi di bottiglia o monete), simulare il gesto di mangiare utilizzando un cucchiaio da tè e dei fagioli, impilare delle pedine da gioco, sollevare oggetti grandi e leggeri (es. lattina vuota), sollevare oggetti grandi e pesanti (lattina piena, 1libbra). Ogni esercizio viene cronometrato dal terapista.



Figura 4.5: Jebsen Hand Function Test equipment [69]

Il test deve essere condotto seguendo alla lettera le istruzioni riportate nel documento originale. E' poco costoso, non richiede allenamento e, essendo molto utilizzato, la letteratura fornisce i valori medi per soggetti tra 20 e 90 anni. Può impiegare dai 15 ai 45 minuti per essere somministrato e, dal momento che i comandi vengono impartiti a voce, non può essere utilizzato su soggetti con disordini del linguaggio.[68]

Scale di valutazione della forza muscolare[70]

Esprimono la valutazione oggettiva, da parte dell'esaminatore, della capacità funzionale di un muscolo. Fondamentali allo scopo sono: un'ottima conoscenza dei distretti interessati (dal punto di vista anatomico, fisiologico e biomeccanico), l'eliminazione dei movimenti di compensazione/sostituzione, l'abilità nell'applicazione di un'eventuale resistenza e la corretta applicazione della direzione del movimento di test. L'esperienza è dunque requisito fondamentale per l'esecuzione di questo tipo di test.

Tre sono le variabili che intervengono nella valutazione:

- il puro peso dell'arto: per valutare la forza muscolare considerando questo solo aspetto, minimizzando l'incidenza della gravità, vengono eseguiti i movimenti di test supportando il segmento con un piano orizzontale più liscio possibile
- la forza di gravità: per esaminare anche questo aspetto, il movimento si sviluppa in un piano perpendicolare alla forza di gravità.
- l'applicazione di una resistenza esterna, generata manualmente in direzione perpendicolare all'asse del segmento e di ampiezza proporzionale alla resistenza del muscolo contratto.

Esistono diverse scale di valutazione della forza, riassunte in Figura 4.6. La più utilizzata dai terapeuti è la scala MRC (Medical Research Council scale), poiché è la più semplice da ricordare ed interpretare: viene infatti assegnato a ciascun muscolo un punteggio da 0 a 5, con 0 per assoluta mancanza di movimento e contrazione, 1 per contrazione muscolare senza movimento alcuno, 2 per piccoli spostamenti contro gravità, 3 quando il paziente muove l'arto e lo mantiene in posizione (contro gravità), 4 se il soggetto resiste anche ad una certa forza resistente (non massimale), 5 se ROM e forza resistente del braccio sono al massimo possibile. Sono ammessi anche gradi intermedi. Se il paziente non riesce ad eseguire i movimenti di test, si può procedere ad una valutazione per palpazione oppure osservando l'assistenza necessaria al soggetto per raggiungere una certa posizione.

LOVETT AND DANIELS AND WORTHINGHAM	KENDALL AND MCCREARY	MEDICAL RESEARCH COUNCIL
N (Normal): Subject completes range of motion against gravity, against maximal resistance.	100%: Subject moves into and holds test position against gravity, against maximal resistance.	5
G+ (Good Plus): Subject completes range of motion against gravity, against nearly maximal resistance.		4+
G (Good): Subject completes range of motion against gravity, against moderate resistance.	80%: Subject moves into and holds test position against gravity, against less than maximal resistance.	4
G- (Good Minus): Subject completes range of motion against gravity, against less than moderate resistance.		4-
F+ (Fair Plus): Subject completes range of motion against gravity, against minimal resistance.		3+
F (Fair): Subject completes range of motion against gravity with no manual resistance.	50%: Subject moves into and holds a test position against gravity.	3
F- (Fair Minus): Subject does not complete range against gravity but does complete more than half the range.		3-
P+ (Poor Plus): Subject initiates range of motion against gravity or completes range with gravity minimized against slight resistance.		2+
P (Poor): Subject completes range of motion with gravity minimized.	20%: Subject moves through small motion with gravity minimized.	2
P- (Poor Minus): Subject does not complete range of motion with gravity minimized.		2-
T (Trace): Subject's muscle can be palpated, but there is no joint motion.	5%: Contraction is palpable with no joint motion.	1
0 (Zero): Subject exhibits no palpable contraction.	0%: No contraction is palpable.	0

Figura 4.6: Scale di valutazione della forza[70]

Conclusioni

Il processo riabilitativo per la mano è molto spesso lungo e irto di ostacoli. Fondamentale è il rispetto delle tempistiche riabilitative, a loro volta connesse allo stato fisiopatologico del paziente. Una difficoltà in più è dovuta al fatto che la mano è un distretto molto complesso, in cui ossa, muscoli, tendini e legamenti lavorano in sinergia per la realizzazione di una quantità enorme di movimenti, dai più grossolani a quelli che richiedono un'articolazione molto più fine e precisa della muscolatura. Una patologia come l'ictus determina inevitabilmente danni molto evidenti, se tale distretto viene colpito.

Le problematiche connesse alla riabilitazione della mano del paziente emiplegico sono numerose: l'ictus causa la variazione delle specifiche della mano in termini di forza e di sensibilità, oltre che produrre -nella maggior parte dei casi- modificazioni della mobilità articolare e del range di movimento dei giunti. A questi problemi si associano i fenomeni muscolari tipici del paziente emiplegico, assolutamente non trascurabili, ed altri danni complementari, sia fisici che psicologici, che indirettamente contribuiscono all'evoluzione del processo riabilitativo. Dato di fatto è che la casistica incontrabile è ampissima e difficile è inserire i pazienti entro rigidi schemi di classificazione; più facile è individuare delle linee generali, modificabili poi caso per caso.

Ad oggi sono stati ideati diversi dispositivi robotici per far fronte al problema riabilitativo, dispositivi presenti sia in forma di prototipo che commerciale. Gli approcci al problema sono diversi: alcuni macchinari si soffermano sui movimenti grossolani dell'arto superiore, sostanzialmente trascurando la mobilitazione delle dita, mentre altri puntano più specificatamente alla riabilitazione delle porzioni più distali. Ancora non è chiaro quale sia la strategia che paghi di più in termini

di efficacia ed efficienza, oltre che di risultato finale.

In sostanza, le variabili in gioco sono moltissime; la tesi, più che fornire un'effettiva soluzione al problema, dà una panoramica su pregi e limiti della riabilitazione motoria nell'emiplegico, cercando di offrire dati, spunti ed idee per la realizzazione di un'ortesi il più possibile in grado di affrontare tali difficoltà.

Bibliografia

- [1] A. H. Association, "Heart disease and stroke statistics 2009 update: A report from the american heart association statistics committee and stroke statistics subcommittee," *Circulation - Journal of the American Heart Association*, 2009.
- [2] J. P. Mohr and J. C. Grotta, *Stroke: pathophysiology, diagnosis, and management*. Elsevier Health Sciences, 2004.
- [3] R. Teasell, N. Bayona, and J. Heitzner, "Clinical consequences of stroke," *The Evidence-Based Review of Stroke Rehabilitation (EBRSR)*, 2008.
- [4] P. W. Duncan, R. Zorowitz, B. Bates, J. Y. Choi, J. J. Glasberg, G. D. Graham, R. C. Katz, K. Lamberty, and D. Reker, "Management of adult stroke rehabilitation care," *American Heart Association*, 2005.
- [5] R. Teasell, N. Bayona, and J. Bitensky, "Background concepts in stroke rehabilitation," *The Evidence-Based Review of Stroke Rehabilitation (EBRSR)*, 2008.
- [6] R. Tubiana, J.-M. Thomine, and E. Mackin, *Examination of the Hand and Wrist*. Martin Dunitz, 1998.
- [7] B. Kingston, *Understanding Joints: a practical guide to their structure and function*. Nelson Thornes, 2000.
- [8] W. B. Conolly and R. Prosser, *Rehabilitation of the hand and upper limb*. Butterworth-Heinemann, 2003.

-
- [9] J. D. Hsu, J. W. Michael, and J. R. Fisk, *AAOS atlas of orthoses and assistive devices*. Butterworth-Heinemann, 2008.
- [10] S. Boccardi and A. Lissoni, *Cinesiologia*. Società Editrice Universo, 2003.
- [11] R. S. Behnke, *Kinetic anatomy*. Human Kinetics, 2006.
- [12] *A design of finger motion assist equipment for disabled hand in robotic rehabilitation system*, 2005, first International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization.
- [13] W. Cooney and E. Chao, “Biomechanical analysis of static forces in the thumb during hand function,” *Journal of Bone and Joint Surgery*, 1977.
- [14] F. J. Valero-Cuevas, M. Johanson, and J. D. Towles, “Towards a realistic biomechanical model of the thumb: the choice of kinematic description may be more critical than the solution method or the variability/uncertainty of musculoskeletal parameters,” *Journal of Biomechanics*, 2003.
- [15] J. Napier, “The prehensile movements of the human hand,” *Journal of Bone and Joint Surgery*, 1956.
- [16] J. M. Elliott and K. J. Connolly, “A classification of manipulative hand movements,” *Developmental Medicine and Child Neurology*, 1984.
- [17] H. M. Clarkson, *Musculoskeletal assessment: joint range of motion and manual muscle strength*. Lippincott Williams and Wilkins, 2000.
- [18] OSH, “Work-related musculoskeletal disorders (wmsds),” -.
- [19] A. D. Astins, “Finger force capability: measurement and prediction using anthropometric and myoelectric measures,” 1999.
- [20] K. Jung, H. You, and O. Kwon, “Evaluation of the force sensitive application hand force measurement system,” *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing and Service Industries*, 2010.
- [21] R. Radwin and S. Oh, “External finger forces in submaximal five-finger static pinch prehension,” *Ergonomics*, 1992.

-
- [22] P. Boissy, D. Bourbonnais, M. M. Carlotti, D. Gravel, and B. A. Arsenault, "Maximal grip force in chronic stroke subjects and its relationship to global upper extremity function," *Clinical Rehabilitation*, 1999.
- [23] S. Li, M. L. Latasha, G. H. Yueb, V. Siemionow, and V. Sahgal, "Quantitative analysis of finger motion coordination in hand manipulative and gestic acts," *Clinical NeuroPhysiology*, 2003.
- [24] *A Kinematic Thumb Model for the ACT Hand*, 2006, proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation.
- [25] W. Cooney, M. Lucca, E. Chao, and R. Linscheid, "The kinesiology of the thumb trapeziometacarpal joint," *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 1981.
- [26] G. Bain, N. Polites, B. Higgs, and R. Heptinstall, "The functional range of motion of the finger joints," - 1997, university of Adelaide, Faculty of Medicine., Modbury Public Hospital, Department of Orthopaedic Surgery, Royal Adelaide Hospital, Department of Orthopaedic Surgery and Trauma, Adelaide.
- [27] *Design of an Exoskeleton for Index Finger Rehabilitation*, 2009, 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS.
- [28] C. Perfetti, *La rieducazione motoria dell'emiplegico*. Ghedini, 1979.
- [29] B. Bucholtz and T. Armstrong, "A kinematic model of the human hand to evaluate its prehensile capabilities," *Journal of Biomechanics*, 1991.
- [30] G. Amabile, C. Dell'Anna, and L. Parisi, *L'emiplegia nell'adulto: aspetti fisiopatologici, clinici e riabilitativi*. Piccin, 1987.
- [31] *Paralisi Cerebrale Infantile: proposte riabilitative*, 2008, matera, 13-14 marzo.
- [32] P. Langhorne, F. Coupar, and A. Pollock, "Motor recovery after stroke: a systematic review," *The Lancet*, 2009.

-
- [33] C. D. Takahashi, L. Der-Yeghiaian, V. Le, R. R. Motiwala, and S. C. Cramer, "Robot-based hand motor therapy after stroke," *Brain*, 2008.
- [34] M. Casadio, P. Giannoni, P. Morasso, and V. Sanguineti, "A proof of concept study for the integration of robot therapy with physiotherapy in the treatment of stroke patients," *Clinical Rehabilitation* 2009, 2009.
- [35] L. E. Kahn, P. S. Lum, W. Z. Rymer, and D. J. Reinkensmeyer, "Robot-assisted movement training for the stroke-impaired arm: Does it matter what the robot does?" *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 2006.
- [36] *A Pneumatic Robot for Re-Training Arm Movement after Stroke: Rationale and Mechanical Design*, 2005, iEEE 9th International Conference on Rehabilitation Robotics.
- [37] A. Sunderland, D. J. Tinson, E. L. Bradley, D. Fletcher, R. L. Hewer, and D. T. Wade, "Enhanced physical therapy improves recovery of arm function after stroke. a randomised controlled trial." *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 1992.
- [38] H. I. Krebs, B. T. Volpe, D. Williams, J. Celestino, S. K. Charles, D. Lynch, and N. Hogan, "Robot-aided neurorehabilitation: A robot for wrist rehabilitation," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2007.
- [39] H. Woldag and H. Hummelsheim, "Evidence-based physiotherapeutic concepts for improving arm and hand function in stroke patients," *Journal Of Neurology*, 2002.
- [40] B. H. Dobkin, "Rehabilitation after stroke," *The New England Journal of Medicine*, 2005.
- [41] M. o. H. o. K. Office of Physical Therapy, "Physical therapy protocol for acute care adult hemiplegia."
- [42] B. B. Gjelsvik, *The Bobath concept in adult neurology*. Thieme, 2008.

- [43] D. KozaK and J. Ilzecka, "Rehabilitation of patients after stroke," -.
- [44] , "Pnf video," <http://www.youtube.com/watch?v=im8J02tjTCA>.
- [45] S. M. Michaelsen, R. Dannenbaum, and M. F. Levin, "Task-specific training with trunk restraint on arm recovery in stroke: Randomized control trial," *Stroke*, 2006.
- [46] S. Hesse, H. Schmidt, and C. Werner, "Machines to support motor rehabilitation after stroke: 10 years of experience in berlin," August/September 2006, <http://www.rehab.research.va.gov/jour/06/43/5/hesse.html>.
- [47] *Machines and robots to support motor rehabilitation after stroke: 10 years of experience in Berlin*, 2006, european Symposium - Technical Aids for Rehabilitation.
- [48] I. Sarakoglou, S. Kousidou, N. G. Tsagarakis, and D. G. Caldwell, "Exoskeleton-based exercisers for the disabilities of the upper arm and hand," *Rehabilitation Robotics*, 2007.
- [49] *Haptic robot for arm and wrist rehabilitation*, 2009, wC 2009, IFMBE Proceedings.
- [50] S. Hesse, H. Kuhlmann, J. Wilk, C. Tomelleri, and S. G. Kirker, "A new electromechanical trainer for sensorimotor rehabilitation of paralysed fingers: A case series in chronic and acute stroke patients," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2008.
- [51] A. Waldner, C. Werner, and S. Hesse, "Robot assisted therapy in neuro-rehabilitation," *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2008.
- [52] "Information material about the amadeo," 2008, <http://www.rehatechnologies.eu>.
- [53] A. Testa, A. Giustini, G. Nofri, L. Tosi, and A. Martini, "L'uso della robotica nella riabilitazione dell' arto superiore: presentazione di caso clinico," *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2009.

- [54] U. Mali, N. Goljar, and M. Munih, "Application of haptic interface for finger exercise," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2006.
- [55] A. Deakin, H. Hill, and V. M. Pomeroy, "Rough guide to the fugl-meyer assessment," *Physiotherapy*, 2003.
- [56] K. Salter, J. Jutai, L. Zettler, M. Moses, N. Foley, and R. Teasell, "Outcome measures in stroke rehabilitation," *The Evidence-Based Review of Stroke Rehabilitation (EBRSR)*, 2008.
- [57] "The barthel index," <http://www.strokecenter.org>.
- [58] G. Sulter, C. Steen, and J. D. Keyser, "Use of the barthel index and modified rankin scale in acute stroke trials," *Stroke-Journal of the American Heart Association*, 1999.
- [59] M. McDonnell, "Action research arm test," *Australian Journal of Physiotherapy*, 2008.
- [60] J. C. MacDermid, "The patient-rated wrist evaluation (prwe) user manual," December.
- [61] M. Changulani, U. Okonkwo, T. Keswani, and Y. Kalairajah, "Outcome evaluation measures for wrist and hand. which one to choose?" *International Orthopaedics*, 2008.
- [62] "The dash," 2006, <http://www.dash.iwh.on.ca/index.htm>.
- [63] K. chung Lin, Y. wei Hsie Yuh Jang, and J. sen Liu, "Minimal detectable change and clinically important difference of the wolf motor function test in stroke patients," *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 2009.
- [64] "Box-and-blocks test," <http://product.handyhealthcare.co.uk>.
- [65] N. R.-G. Klinik, "Nine-hole peg test (nhpt)," -.
- [66] "Nine-hole peg test (nhpt)," <http://healthsciences.qmu.ac.uk/labweb/Equipment>.

-
- [67] Michaelsen, Natalio, Silva, and Pagnussat, “Reliability of the translation and adaptation of the test de evaluation des membres superieurs des personnes agees (tempa) to the portuguese language and validation for adults with hemiparesis,” *Revista Brasileira de Fisioterapia*, 2008.
- [68] U. o. W. S. Occupational Therapy Program, “Jebsen test of hand function,” May.
- [69] “Jebsen taylor hand function test,” <http://product.handyhealthcare.co.uk>.
- [70] M. L. Palmer, *Fundamentals of musculoskeletal assessment techniques*. Lippincott Williams and Wilkins, 1998.

Appendice A

Primo Capitolo Appendice

A.1 Prima sezione

Parole chiave

Di seguito si elencano le parole chiave (tra parentesi la traduzione italiana) maggiormente utilizzate per reperire le informazioni presenti in questa tesi:

- stroke (ictus)
- stroke therapy modalities (modalità di terapia dell'ictus)
- hand recovery of function (recupero della funzionalità)
- hand physiotherapy stroke (fisioterapia della mano post-ictus)
- hand motor activity (attività motoria della mano)
- hand ADL (attività quotidiane)
- hand rehabilitation (riabilitazione della mano)
- finger motion analysis (analisi del movimento delle dita)
- finger rehabilitation robots (robot per la riabilitazione delle dita)
- hand kinematics (cinematica della mano)
- hand movement patterns (schemi di movimento della mano)
- hand ROM (range di movimento della mano)
- hand movement classification (classificazione dei movimenti della mano)
- hand assessment scale (scala di recupero motorio della mano)
- hand therapy protocols (protocollo fisioterapia della mano)
- stroke motor assessment (recupero motorio post-ictus)

Ringraziamenti

Al mio papà, per i preziosi consigli. A Anna, Chiara e Elena, per la stoica
pazienza. A Maria Francesca, per la rara gentilezza e disponibilità. A Nadia e
Maria Gabriella, per la vita.