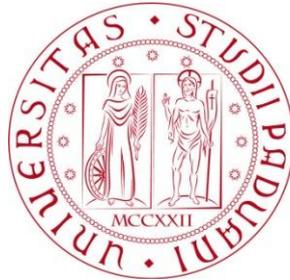


Università degli Studi di Padova  
Dipartimento di Scienze Statistiche  
Corso di Laurea Triennale in  
Statistica e Tecnologie Informatiche



TESI DI LAUREA

**LA RIABILITAZIONE MEDIANTE REALTÀ VIRTUALE NEI PAZIENTI  
COLPITI DA ICTUS**

Relatore: Prof.ssa Laura Ventura  
Dipartimento di Statistica

Laureanda: Lorenza Maistrello  
Matricola: 580463 STI

Anno Accademico 2014/2015



*Ai miei genitori  
A mia madre per la sua silenziosa pazienza,  
A mio padre che sarebbe stato fiero di me.*



# **Indice**

<b>Introduzione</b>	<b>4</b>
<b>Capitolo 1 - <i>Danni cerebrali: terapie e dati</i></b>	<b>5</b>
1.1 - L'ictus . . . . .	5
1.2 - Metodi clinici applicati . . . . .	6
1.2.1 - La riabilitazione convenzionale ed i suoi limiti . . . . .	6
1.2.2 - La riabilitazione virtuale . . . . .	7
1.3 - I dati . . . . .	9
<b>Capitolo 2 - <i>Analisi dei dati</i></b>	<b>12</b>
2.1 - Analisi esplorative . . . . .	12
2.1.1 - Analisi preliminare sui pazienti . . . . .	12
2.2 - Analisi esplorative per esercizio . . . . .	15
2.3 - Conclusioni dell'analisi esplorativa sui pazienti . . . . .	48
2.4 - Analisi inferenziale non parametrica . . . . .	49
2.4.1 - Analisi inferenziale per esercizio . . . . .	50
2.5 - Conclusioni dell'analisi inferenziale sui pazienti . . . . .	67
<b>Capitolo 3 - <i>Modello lineare generalizzato</i></b>	<b>68</b>
3.1 - I modelli lineari generalizzati . . . . .	68
3.2 - Stima dei modelli lineari generalizzati per esercizio . . . . .	69
3.3 - Conclusioni sui modelli stimati . . . . .	78
<b>Conclusioni</b>	<b>80</b>
<b>Bibliografia e sitografia</b>	<b>81</b>



## ***Introduzione***

Questa tesi nasce da un'esperienza di stage svolta presso il Laboratorio di Neuro-Riabilitazione dell'Ospedale San Camillo del Lido di Venezia con lo scopo di analizzare alcuni valori cinematici legati ai movimenti degli arti superiori di 98 pazienti colpiti da ictus e sottoposti ad un programma di Riabilitazione Virtuale.

Il programma di riabilitazione prevede che i pazienti effettuino un ciclo di terapie in ambiente virtuale mediante il macchinario VRRS-Evo4 durante le quali compiono 8 esercizi che permettono di interagire con oggetti di uso comune, dei quali il macchinario riproduce le principali proprietà fisiche (dimensioni, peso, massa, ed elasticità), consentendo la replicazione fedele di attività tipiche della realtà quotidiana<sup>3</sup>.

Per ciascun paziente vengono svolte due sessioni di valutazione, una all'inizio ed una al termine della terapia, con lo scopo di registrare i valori di 7 variabili cinematiche. Tramite la raccolta di dati inerenti agli esercizi svolti dai pazienti si potrà riconoscere se il ciclo di terapie virtuali è stato o meno efficace e se, effettivamente, si è riscontrato un miglioramento nelle variabili cinematiche legate ai movimenti dei pazienti.

Tali valori vengono poi confrontati con quelli di pazienti che hanno invece svolto un programma di riabilitazione non virtuale per capire se la riabilitazione virtuale sia più efficace rispetto alla riabilitazione convenzionale.

Nel primo capitolo si presenterà la struttura del data set: la maggior parte delle variabili è di tipo numerico e rappresentano le misurazioni effettuate sui pazienti pre e post terapia, mentre ci sono poche variabili categoriali riguardanti i dati anagrafici e clinici del paziente.

Nel secondo capitolo vengono effettuate le prime analisi esplorative sui dati, le analisi di correlazione tra variabili ed il calcolo di alcuni test, che permetteranno di capire la natura dei dati e le loro caratteristiche principali e di trarre le principali conclusioni sull'efficacia o meno della terapia riabilitativa virtuale e confrontare i risultati con quelli della riabilitazione convenzionale.

Nel terzo capitolo si proporrà un modello di regressione multivariato per i dati in esame per individuare quale delle variabili influenzi maggiormente i risultati.

Le analisi sono state effettuate mediante l'ambiente di programmazione R ed R-Studio, un software statistico opensource<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Per una migliore descrizione riguardante la realtà della riabilitazione virtuale, i principi scientifici e le caratteristiche del macchinario utilizzato, si rimanda al sito di Khymeia, azienda produttrice del macchinario VRRS EVO-4 con il quale i pazienti sono stati sottoposti alle sessioni di valutazione ed alla terapia riabilitativa virtuale. <http://www.khymeia.com/>

<sup>4</sup> Software reperibili sui siti <https://www.rstudio.com/> e <https://cran.r-project.org/> con relativi manuali.

# Capitolo 1

## *Danni cerebrali : Terapie e Dati*

In questo capitolo vengono presentate brevemente le diverse tipologie di ictus che possono colpire le persone ed i principali metodi clinici utilizzati per limitare i danni motori legati alla malattia. Nell'ultimo paragrafo del capitolo viene descritto lo studio condotto durante lo stage e la presentazione dei dati a disposizione per la sperimentazione.

### 1.1 L'ICTUS

L'ictus è un danno cerebrale che si verifica quando un coagulo di sangue blocca un'arteria del cervello o quando un'arteria cerebrale subisce un danneggiamento e si rompe, provocando un'interruzione dell'apporto di sangue ossigenato nell'area cerebrale.

Tale interruzione determina la morte delle cellule cerebrali di quell'area e di conseguenza, le funzioni cerebrali controllate da quella zona (riguardanti i movimenti degli arti, il linguaggio, la vista, l'udito o altro) vengono inibite a distanza.

L'ictus può essere di diversi tipi:

- **Ictus ischemico:** si verifica quando si crea un'ostruzione delle arterie cerebrali (circa l'80% dei casi).
- **Ictus emorragico:** si verifica quando un'arteria del cervello si rompe, provocando così un'emorragia intracerebrale non traumatica (circa il 16% dei casi).
- **Attacco ischemico transitorio o TIA:** si differenzia dall'ictus ischemico per la minore durata dei sintomi (pochi minuti o comunque inferiore alle 24 ore). Il 40% delle persone che presenta un TIA, in futuro andrà incontro ad un ictus vero e proprio.

L'ictus è la terza causa di morte in Italia (dopo le malattie ischemiche del cuore e le neoplasie) ed ogni anno si verificano circa 196.000 casi, di cui il 20% sono recidivi.

Il 30% delle persone colpite da ictus cerebrale muore nell'arco di un anno di vita dal trauma; il 25% dei pazienti sopravvissuti ad un ictus guarisce completamente; il 75% sopravvive con una qualche forma di disabilità, e di questi circa la metà è portatore di un deficit così grave da perdere l'autosufficienza.

Tra i fattori non modificabili che possono aumentare il rischio di ictus troviamo l'età, il sesso e la predisposizione familiare. L'età è il maggiore fattore di rischio non modificabile per l'ictus. La frequenza del trauma aumenta con l'età a partire dai 55 anni e raddoppia per ogni

decade (il 75% degli ictus si verifica nelle persone con più di 65 anni). Inoltre, appartenere al sesso maschile e la predisposizione familiare sono ulteriori fattori di rischio non modificabili per il verificarsi di ictus.<sup>5</sup>

## 1.2 METODI CLINICI APPLICATI

Le conseguenze a lungo termine provocate dai traumi cerebrali possono essere corrette parzialmente attraverso un'adeguata riabilitazione pianificata caso per caso, in base alle caratteristiche dell'ictus che colpisce l'individuo.

Il trattamento dell'ictus è mirato a recuperare quanto più possibile le funzioni cerebrali danneggiate e questo si ottiene con programmi di riabilitazione *task-oriented* (orientati al compito) che si basano sulla pratica ripetuta della funzione persa e sull'aumento di intensità (velocità di movimento, precisione, efficienza, gamma) basati sulle caratteristiche cliniche, anatomiche e reali del paziente e sui progressi effettuati dai pazienti con il passare del tempo.<sup>6</sup>

### 1.2.1 La Riabilitazione Convenzionale ed i suoi limiti

Le attività *task-oriented*, utilizzate nella terapia convenzionale, presentano dei limiti legati alla capacità di effettuare controlli sistematici e rilevazioni precise ed in tempo reale sulle prestazioni dei pazienti, oltre ad una limitazione legata alla strumentazione a disposizione, che influenza la possibilità di personalizzare le terapie riabilitative in base alle singole caratteristiche personali del paziente in termini di qualità, durata e varietà degli esercizi in modo flessibile e dinamico. Infine, un possibile fattore che può influenzare i risultati dei pazienti è l'incapacità di mantenere il soggetto motivato e impegnato di fronte ad esercizi eccessivamente ripetitivi.

Il Dipartimento di Scienze Cognitive del Massachusetts Institute of Technology, guidato dal Professore Emilio Rizzi, ha sviluppato uno strumento di *Virtual Reality Rehabilitation System*

---

<sup>5</sup> Dati forniti dal sito del Ministero della Salute e dalla Società Italiana dell'Iperensione Arteriosa.

<sup>6</sup> Alcuni ricercatori delle University of South Alabama e University of North Carolina hanno analizzato e aggiornato dati ottenuti da numerosi articoli, pubblicati tra il 2000 e il 2005, riguardanti diverse centinaia di studi sulla riabilitazione cognitiva, supportando la tesi della possibilità di un recupero neurofisico dopo un danno cerebrale come l'ictus, attraverso articoli raccolti in "*Effectiveness of Cognitive Rehabilitation Following Acquired Brain Injury: A Meta-Analytic Re-examination of Cicerone et al.'s (2000, 2005) Systematic Reviews*," *Neuropsychology*, **23**, 1.

(VRRS) basato sui meccanismi fisiologici di apprendimento che utilizza la realtà virtuale per promuovere la riabilitazione motoria degli arti.<sup>7</sup>

### 1.2.2 La Riabilitazione Virtuale

Il programma di riabilitazione virtuale, oggetto di studio in questa tesi, prevede che i pazienti effettuino un ciclo di terapie in ambiente virtuale, mediante il macchinario VRRS Evo-4 (Fig.1), durante il quale interagiscono con oggetti di uso comune, dei quali il macchinario riproduce le principali proprietà fisiche (dimensioni, peso, massa, ed elasticità), consentendo di effettuare esercizi che replicano fedelmente le attività tipiche della realtà quotidiana (Fig.2).

La scena in cui viene eseguito l'esercizio durante la terapia è un ambiente 3D, delimitato da pareti, nel cui contesto sono presenti uno o più oggetti ed eventualmente vengono disegnate delle traiettorie.

Durante le sessioni di valutazione l'ambiente grafico è invece più sterile per fare in modo che il paziente non venga influenzato e distratto dai vari scenari (Fig.3).



Figura 1. Macchinario VRRS Evo4

---

<sup>7</sup> Risultati pubblicati sulla Cochrane Library della Cochrane Collaboration ed evidenziati da uno studio effettuato presso l'IRCCS Ospedale San Camillo di Venezia, sottolineano la migliore efficacia della riabilitazione virtuale rispetto la riabilitazione convenzionale. Alcuni risultati sono consultabili negli articoli prodotti in seguito allo studio come: Turolla, A., Dam, M., Ventura, L., Tonin, P., Agostini, M., Zucconi, C., Kiper, P., Cagnin, A., & Piron, L. (2013) "Virtual reality for the rehabilitation of the upper limb motor function after stroke: a prospective controlled trial". J. Neuroeng. Rehabil., **10**, 85.

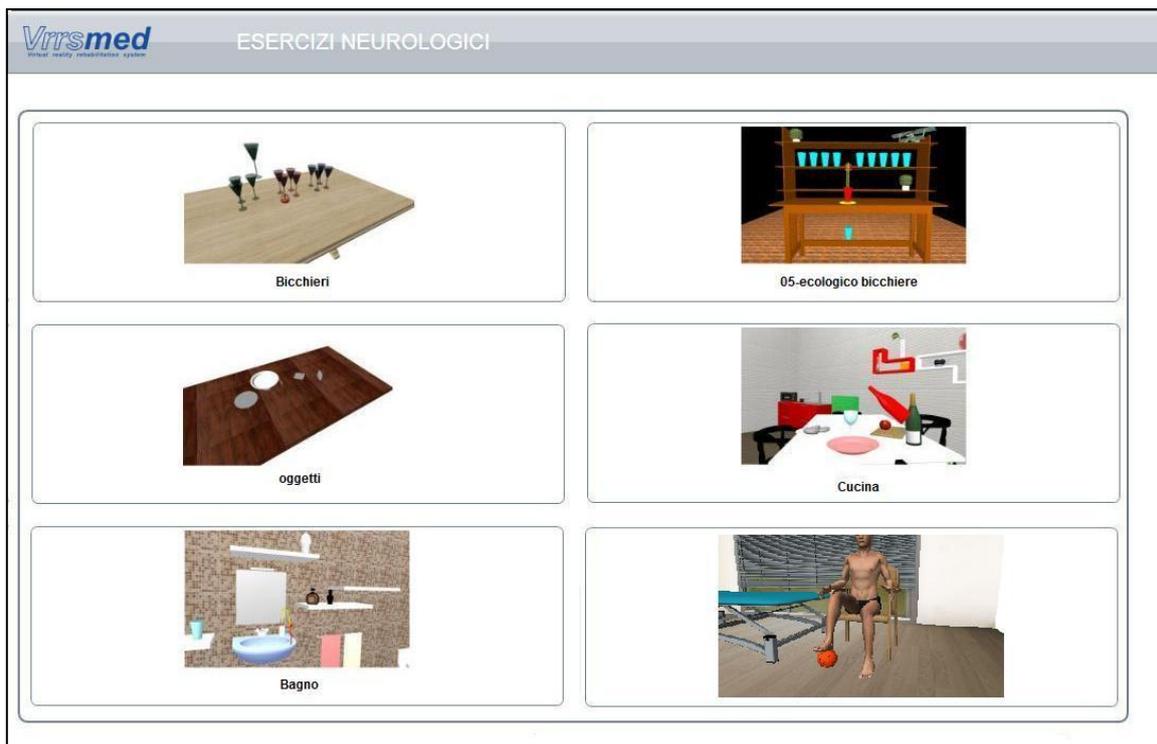


Figura 2. Esempi di scenari proposti dal macchinario durante le sessioni di terapia

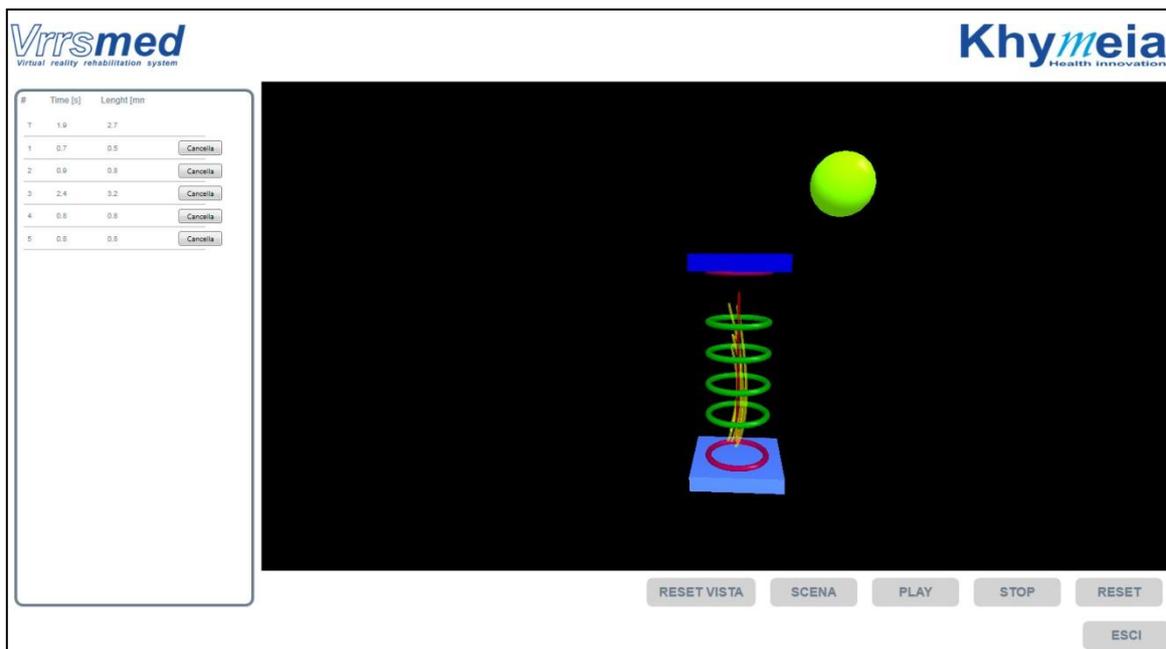


Figura 3. Esempio di scenario durante la sessione di valutazione

### 1.3 I DATI

I dati a disposizione del laboratorio comprendevano i risultati di due valutazioni (prima e dopo la terapia) eseguite su ciascuno dei 98 pazienti sottoposti allo studio. Ogni valutazione registrava i valori di otto esercizi, ripetuti ciascuno venti volte da ogni paziente. Per ogni esercizio effettuato, venivano registrati i valori di sette variabili cinematiche, legate ai movimenti dei pazienti.

La prima parte dello studio è stata dedicata alla sintesi dei dati a disposizione per comporre un data set finale di più facile accesso. Per ogni paziente è stata calcolata la media dei valori di ciascuna delle sette variabili cinematiche di ogni esercizio delle due valutazioni ed è stato creato un unico data set che comprendesse i risultati delle due valutazioni assieme.

Il data set finale si compone quindi di un campione di  $n=98$  pazienti (41 Femmine e 57 Maschi), che sono stati affetti da diverse tipologie di traumi cerebrali, e che sono stati sottoposti a terapie di riabilitazione degli arti superiori mediante una terapia Riabilitativa tramite Realtà Virtuale (rv) o mediante Riabilitazione Convenzionale (rc), con l'aiuto di un fisioterapista.

Ogni paziente, indipendentemente dalla terapia ricevuta, ha svolto una valutazione iniziale (Pre terapia) ed una finale (Post terapia) utilizzando il macchinario VRRS Evo4.

Le variabili che compongono il data set sono  $p=21$ : le prime sette riguardano i dati anagrafici e clinici del paziente e le successive quattordici riguardano i risultati delle valutazioni (sette per quella iniziale e sette per quella finale).

Per quanto riguarda i dati anagrafici si hanno a disposizione le variabili:

- *Id*: identificativo del paziente
- *Trattamento*: riabilitazione convenzionale o riabilitazione virtuale
- *Esercizio*: esercizio di cui si sta facendo la valutazione
- *Trauma*: tipologia di trauma subito
- *Mesi*: tempo passato dal trauma espresso in mesi
- *Eta*: età del paziente
- *Sesso*: sesso del paziente

Il programma di riabilitazione prevede che i pazienti effettuino un ciclo di esercizi che comprendono: flessione - estensione del gomito destro (**Tight slide\_dx**), movimento parabolico del braccio destro dall'anca destra (**Simple reaching\_dx**), flessione del gomito (**Elbow flexion**), elevazione del braccio flessione (**Elevazione**), abduzione con gomito flessione (**ABDUZIONE\_dx\_gomito\_flessione**), scivolamento diagonale del braccio dall'anca sinistra al ginocchio destro (**ANCAsx-GINOCCHIO\_dx**), rotazione del gomito con il braccio elevato (**Extrarotazione**), rotazione del gomito portando il palmo della mano da prono a supino (**Pronosupinazione**).

Nell'esercizio di valutazione svolto dal paziente vengono definiti tipicamente i seguenti elementi:

- ~ **Teacher**: la traiettoria realizzata generalmente dal terapeuta e registrata dal sistema che il paziente deve imitare.
- ~ **End Effector**: l'arto superiore del paziente che può essere visibile o meno all'interno della scena, la cui cinematica 3D, ricalca quella reale del paziente in cui è stato messo il sensore.
- ~ **Parser**: analizzatore della cinematica dell'End Effector nel contesto dell'esercizio. Il Parser definisce due particolari regioni dello spazio: *Parser Start* e *Parser End* che racchiudono i punti iniziali e finali della traiettoria da imitare.
- ~ **Feedback**: indicazione visiva o acustica legata alla performance del paziente.
- ~ **Assistente Vocale**: analizzatore dello scostamento della traiettoria del paziente dalla traiettoria del teacher che fornisce suggerimenti dettagliati al paziente circa l'azione da intraprendere per correggere l'errore.

Per ciascun esercizio vengono registrate le seguenti variabili pre e post terapia:

- **Target Distance**: distanza dell'End Effector rispetto al Parser End al termine della prova.
- **Spatial Error**: errore quadratico medio del percorso dell'End Effector rispetto al percorso effettuato dal Teacher.
- **Distance Error**: errore spaziale medio del percorso dell'End Effector rispetto al percorso effettuato dal Teacher.
- **Time Length**: tempo impiegato per svolgere l'esercizio.
- **Spatial Len**: distanza media dell'End Effector rispetto al percorso effettuato dal Teacher durante il percorso.

- **Sub Movements:** sub movimenti effettuati dal paziente durante lo svolgimento dell'esercizio.
- **Avg Speed:** velocità media impiegata dal paziente per portare a compimento l'esercizio.

Nel prossimo capitolo si presentano le prime analisi esplorative sui dati, le analisi di correlazione e il calcolo di alcuni test, che permettono di trarre le principali conclusioni circa un miglioramento del paziente a seguito della terapia e sul confronto delle due tipologie di riabilitazione.

## Capitolo 2

### *Analisi Esplorativa Dei Dati*

In questo capitolo si effettuano le prime analisi esplorative sui dati, le analisi di correlazione e il calcolo di alcuni test che permettono di trarre le principali conclusioni circa un miglioramento del paziente a seguito della terapia e sul confronto delle due tipologie di riabilitazione.

#### **2.1 ANALISI ESPLORATIVE**

La prima fase dell'analisi è costituita dall'analisi esplorativa che consente di organizzare e sintetizzare i dati a disposizione. I supporti grafici e tabellari, che generalmente accompagnano questa prima fase di studio, sono strumenti essenziali nell'elaborazione dei dati e consentono una più facile interpretazione delle informazioni da essi fornite. Gli indici di sintesi permettono poi di caratterizzare e specificare caratteristiche, come la possibile presenza di un valore attorno al quale i dati si concentrano e, quando questo avviene, quanto essi siano dispersi attorno a tale valore.

Le analisi esplorative forniscono quindi informazioni sulle caratteristiche rilevanti dei dati e permettono di individuare quali siano le relazioni tra le variabili, fornendo indicazioni sui test da utilizzare per le successive analisi.

##### **2.1.1 Analisi preliminare sui pazienti**

Il campione preso in considerazione è composto da  $n=98$  pazienti. Una prima analisi esplorativa può darci un'idea delle caratteristiche demografiche dei pazienti comprendenti la proporzione di maschi e femmine, la fascia di età trattata dalle terapie e le problematiche che hanno spinto i pazienti a ricorrere alle terapie.

I pazienti, analizzati in base al genere, sono suddivisi in 57 maschi e 41 femmine.

Possiamo notare come vi sia un maggior numero di maschi rispetto alle femmine (il 58% dei pazienti è di genere maschile ed il 42% di genere femminile). Il test unilaterale destro sul confronto delle proporzioni conferma, con un p-value di 0.011, il fatto che l'ictus colpisca maggiormente le persone di genere maschile<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> L'*American Heart Association* ha organizzato, a partire dal 1971, dei consensus panel nei quali ha precisato il ruolo dei principali fattori di rischio dell'ictus cerebrale. Uno dei fattori demografici non modificabili è costituito dal genere; le persone di genere maschile sono più predisposte ad avere ictus.

Dei 98 pazienti oggetto dello studio, il 73% dei pazienti (72 pazienti) ha ricevuto un ciclo di terapie basate sulla riabilitazione virtuale ed il restante 27% dei pazienti (26 pazienti) ha invece seguito terapie di riabilitazione di tipo tradizionale.

L'età dei pazienti varia dai 13 agli 85 anni, con un'età media pari a 57.7 anni (standard error 17.48 anni).

I traumi, che hanno spinto i pazienti a richiedere il ciclo di terapie riabilitative, sono: per il 2% dei pazienti Carcinoma, per il 42% Ictus Emorragico, per il 49% Ictus Ischemico, per l'1% Mielite e per il 6% dei pazienti Trauma Cranico Emorragico.

Le analisi esplorative ci permettono di notare come, ad eccezione di mielite e carcinoma che hanno colpito esclusivamente le donne, entrambe le tipologie di ictus (ictus ischemico ed ictus emorragico) ed il trauma cranico emorragico colpisca maggiormente gli uomini. Nell'ictus ischemico il 58% dei pazienti sono maschi, nell'ictus emorragico la percentuale dei maschi è pari al 59%, mentre nel trauma cranico emorragico (tce) i maschi costituiscono il 41% dei pazienti.

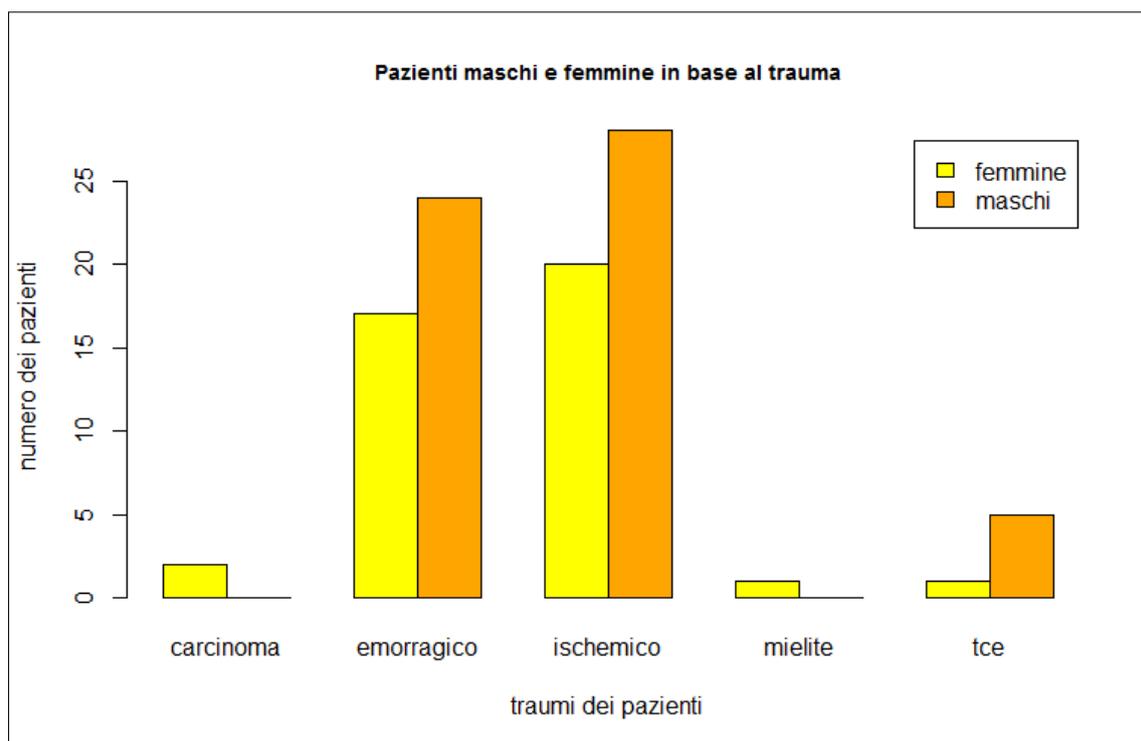


Figura 5. Suddivisione del numero dei pazienti per genere nei diversi traumi

Per quanto riguarda la caratterizzazione dei pazienti per età e trauma subito, i risultati ottenuti dalle analisi evidenziano che il trauma maggiormente subito dai pazienti anziani è l'ictus ischemico (l'età media è pari a 59.74 anni), seguito dall'ictus emorragico (56.72 anni), mielite (53 anni), carcinoma (47.5 anni) e tce, che colpisce i soggetti più giovani (22.33 anni).

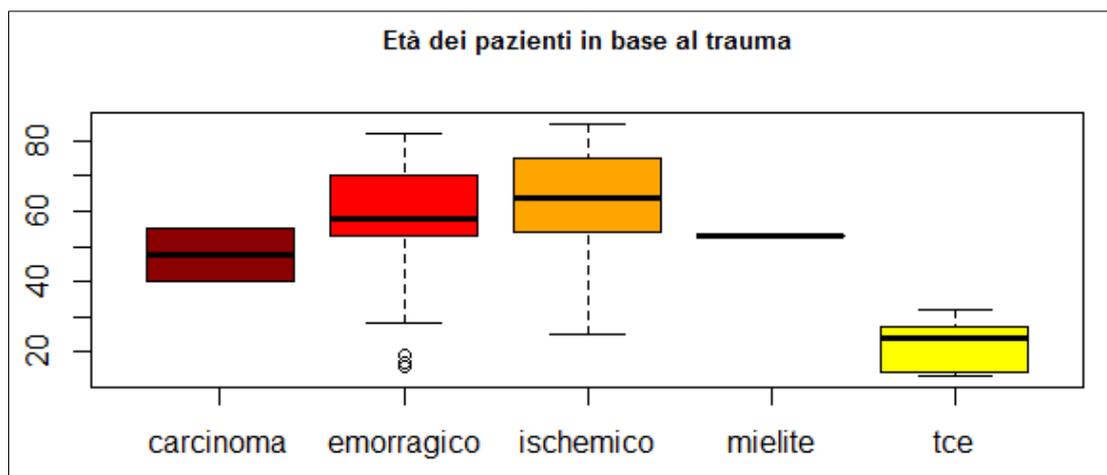


Figura 6. Boxplots dell'età dei pazienti suddivise in base al trauma

Nello specifico nella distinzione dei pazienti tra le due tipologie di terapia ricevuta si sono ottenuti i risultati che seguono.

I pazienti trattati tramite **riabilitazione virtuale** (rv) hanno subito per il 3% Carcinoma, per l'1% Mielite, per l'8% Trauma Cranico Emorragico, per il 40% Ictus Emorragico e per il 47% Ictus Ischemico. In base al genere di appartenenza, questo gruppo di pazienti è costituito per il 58% da pazienti maschi e per il 42% da pazienti femmine (42 pazienti maschi e 30 pazienti femmine).

L'età media è di 54.97 anni (deviazione standard 18.31 anni) in un range di età che varia da 13 ad 85 anni. L'età media è più elevata nelle femmine (59.5 anni nelle donne e 51.2 anni negli uomini) e lo scarto quadratico medio è più elevato negli uomini (18.95 anni per i maschi e 16.64 anni per le donne). Il range dell'età è più ampio negli uomini con il più giovane paziente di 13 anni ed il più anziano di 78 anni, contrapposti alla più giovane paziente femmina di 28 anni e la più anziana di 85 anni.

I traumi che più ricorrono tra i maschi che hanno effettuato il ciclo di terapie tramite rv sono: 5 pazienti Tce, 18 con Ictus Emorragico e 19 con Ictus Ischemico. Nelle femmine invece sono presenti: 2 pazienti con Carcinoma, 1 con Mielite, 1 con Tce, 11 con Ictus Emorragico e 15 pazienti con Ictus Ischemico.

I pazienti trattati tramite **riabilitazione convenzionale** (rc) sono invece suddivisi per il 42% in pazienti femmine e per il 58% in pazienti maschi (15 maschi e 11 femmine).

I traumi subiti da questo gruppo di pazienti si differenziano per il 46% in Ictus Emorragico e per il 54% in Ictus Ischemico.

L'età media è, in questo gruppo, maggiore rispetto ai pazienti che hanno ricevuto il trattamento di riabilitazione virtuale. La media infatti è di 65.42 anni, in un range che va da 38 ad 85 anni, con una deviazione standard di 12.26 anni.

Anche in questo caso l'età media è più elevata nelle femmine (66 anni nelle donne e 65 anni negli uomini), lo scarto quadratico medio è, invece, minore negli uomini (13.68 anni per le femmine e 11.58 anni per gli uomini) ed il range delle età è più ampio nelle donne con la più giovane paziente di 38 anni e la più anziana di 82 anni, contrapposti al più giovane paziente maschio di 48 anni ed il più anziano di 85 anni.

I traumi che più ricorrono tra i maschi che hanno effettuato il ciclo di terapie tramite rc sono: 6 pazienti con Ictus Emorragico e 9 pazienti con Ictus Ischemico. Nelle femmine invece abbiamo: 6 pazienti con Ictus Emorragico e 5 pazienti con Ictus Ischemico.

## **2.2 ANALISI ESPLORATIVE PER ESERCIZIO**

Nell'analizzare gli esercizi riabilitativi, a cui sono stati sottoposti i pazienti, vengono presi in considerazione i risultati delle valutazioni delle diverse variabili Pre e Post terapia, effettuate tramite il macchinario VRSS Evo 4. Per ogni esercizio vengono considerate le stesse variabili e vengono effettuati dei test per stabilire se i valori cinematici, rilevati sui pazienti, abbiano avuto un miglioramento a seguito della terapia. Verrà condotta in seguito un'analisi per poter capire quale delle due terapie riabilitative ha avuto migliore efficacia sui pazienti, quale trauma ha avuto un recupero maggiore e se c'è una distinzione nel recupero in base al genere.

Per poter individuare le procedure più adatte alla tipologia di dati, per prima cosa studiamo la natura delle variabili. Verifichiamo se i dati si distribuiscono normalmente sia con un test grafico, sia con il test di Shapiro Wilk.

Il test grafico consiste nel diagramma quantile contro quantile, che confronta i quantili della distribuzione osservata con quelli della distribuzione normale teorica.

Il test di Shapiro Wilk verifica la normalità delle osservazioni utilizzando un livello di significatività pari al 0.05.

La numerosità campionaria tra i differenti esercizi non è costante, poiché non tutti i pazienti sono stati sottoposti, nel loro ciclo di terapie, a tutti gli esercizi.

Nelle analisi esplorative dei dati, caratterizzati per la tipologia di trauma subito, a causa della scarsità dei dati a disposizione, verranno considerati unicamente i pazienti che hanno riportato un trauma di tipo Ictus Ischemico e Ictus Emorragico.

➤ **Esercizio Tight slide**

L'esercizio, svolto da 98 pazienti, consiste nel flettere il gomito ed estenderlo facendo scivolare il braccio lungo la coscia. La mediana nelle età dei pazienti che hanno svolto questo esercizio è di 60 anni e l'età media dei pazienti è 57.74 anni (deviazione standard 17.48 anni).

Le analisi grafiche, eseguite tramite grafico quantile contro quantile su ogni variabile registrata nell'esercizio, inducono a formulare l'ipotesi che nessuna delle variabili risulti normale; ipotesi confermata dai valori dei p-values dei test di Shapiro Wilk, tutti inferiori al livello di significatività fissato.

I boxplots (Fig.7) evidenziano che in tutte le variabili è presente una diminuzione dei valori a seguito della terapia in termini di mediana, ad eccezione della variabile Avg Speed. Anche i range dei valori diminuiscono ad eccezione delle variabili Avg Speed e Sub Movuments per le quali i valori aumentano.

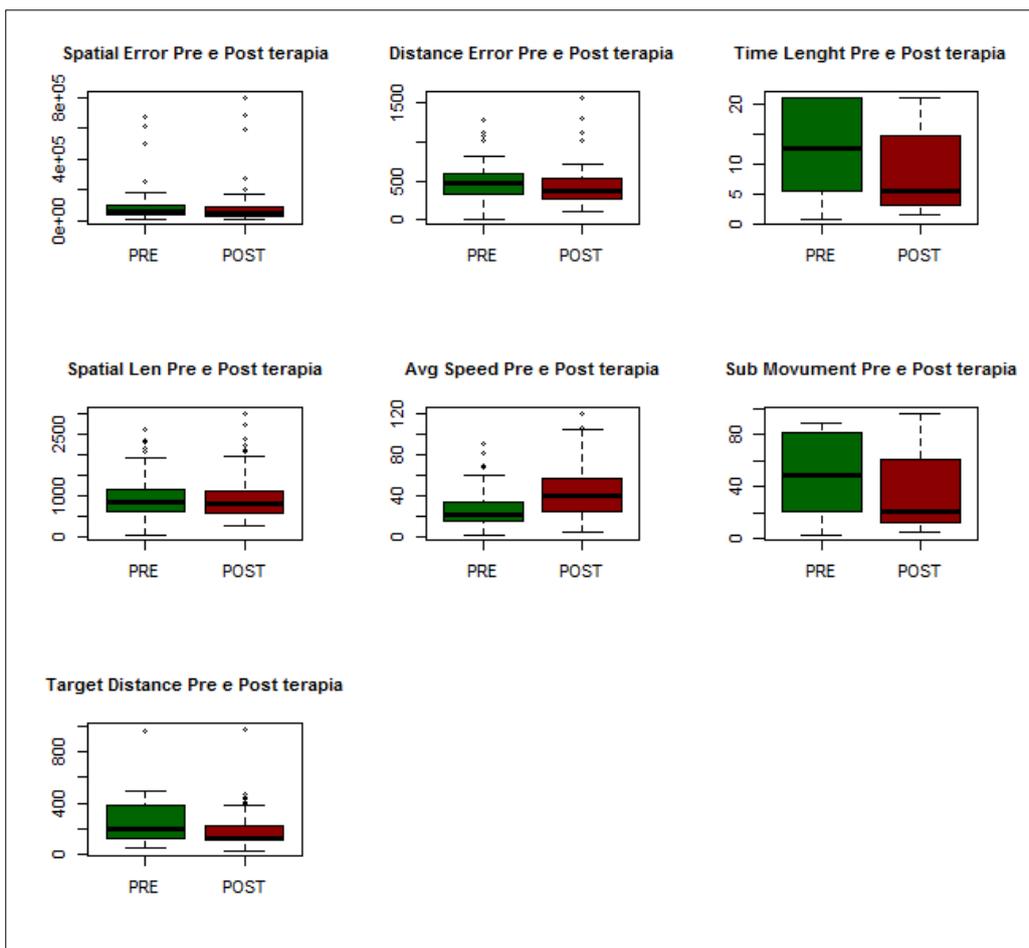


Figura 7. Esercizio Tight Slide: Boxplots di tutte le variabili.

## ~ caratterizzazione per trauma

I pazienti, che hanno effettuato questo esercizio, sono suddivisi in base al trauma in: 1 paziente con Mielite, 2 pazienti con Carcinoma, 6 pazienti con Tce, 41 pazienti con Ictus Emorragico e 48 pazienti con Ictus Ischemico. I dati a disposizione non si distribuiscono normalmente. I boxplots delle differenze dei valori Pre e Post terapia delle variabili, per i traumi Ictus Ischemico e Ictus Emorragico (Fig.8), evidenziano una differenza in termini di mediana tra le due tipologie di patologie: nelle variabili Time Length, Spatial Len e Sub Movuments il valore delle mediane è maggiore nel trauma Ictus Emorragico, mentre nelle altre variabili il valore delle mediane è più elevato nel trauma Ictus Ischemico. Il range dei valori è più ampio nel trauma Ictus Ischemico per tutte le variabili, eccetto che per le variabili Time Length e Spatial Len.

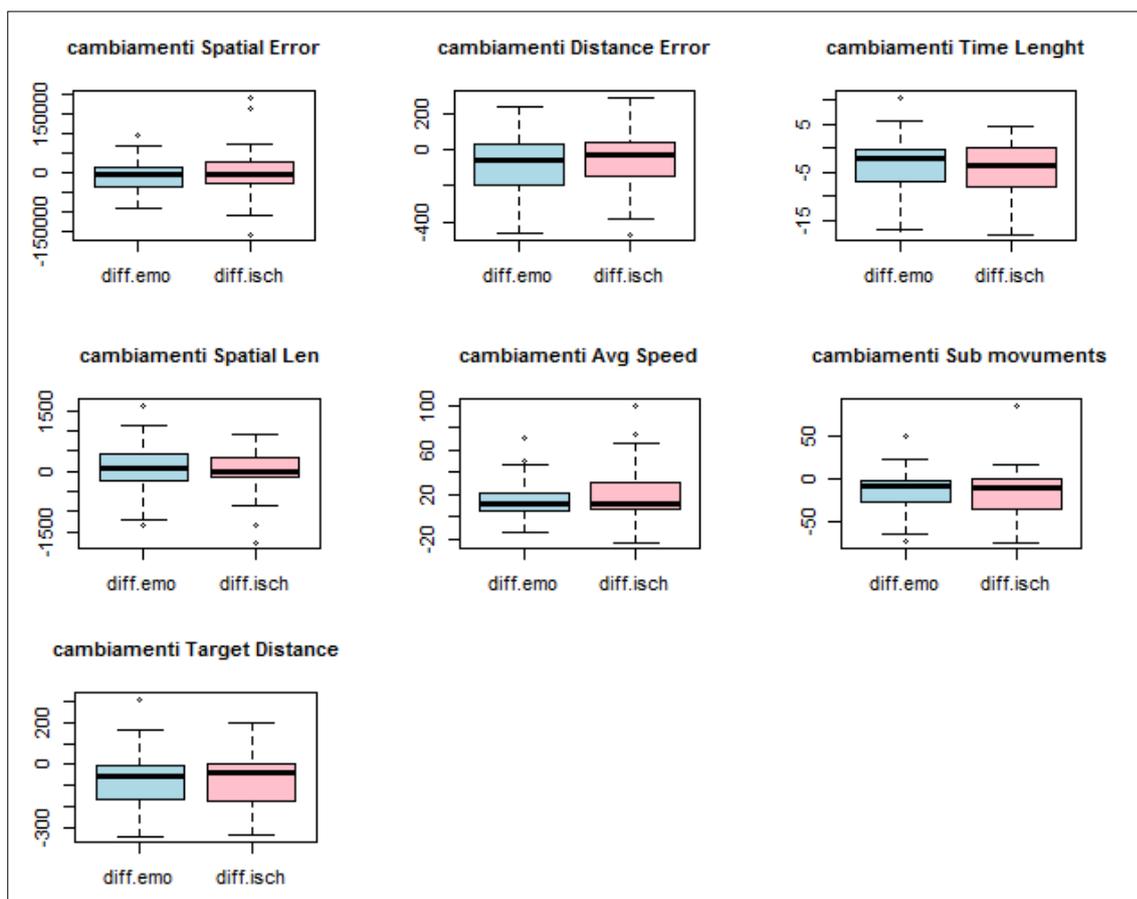


Figura 8. Esercizio Tight Slide: Boxplots delle differenze pre e post terapia delle variabili, caratterizzate per trauma.

### ~ caratterizzazione per genere

I 98 pazienti che hanno effettuato questo esercizio si dividono per il 42% in pazienti femmine e per il 58% in pazienti maschi (41 pazienti femmine e 57 pazienti maschi). Le medie e mediane delle variabili sono differenti a seconda del genere. I valori nelle femmine sono più elevati, mentre i valori nei maschi hanno un range più ampio. Da una prima analisi descrittiva si potrebbe affermare che in entrambi i sessi le variabili non assumono distribuzione normale e vi è un calo dei valori nel Post terapia per entrambi. Considerando la differenza dei valori Pre e Post terapia delle variabili (Fig.9), si evidenzia un range dei valori maggiore nei pazienti di genere femminile per le variabili Spatial Error e Spatial Len, mentre, per le altre variabili, il range dei valori è maggiore negli uomini. Le mediane delle differenze assumono valori più elevati nel gruppo di pazienti femmina, ad eccezione della variabile Distance Error, per la quale il valore della mediana è maggiore nel gruppo di pazienti maschi. L'età media dei pazienti è pari a 61.24 anni per le pazienti femmine (standard error 16 anni), e 55.23 anni per i pazienti maschi (standard error 18.95 anni). La mediana è di 65 anni per le femmine, mentre per i maschi la mediana è di 58 anni.

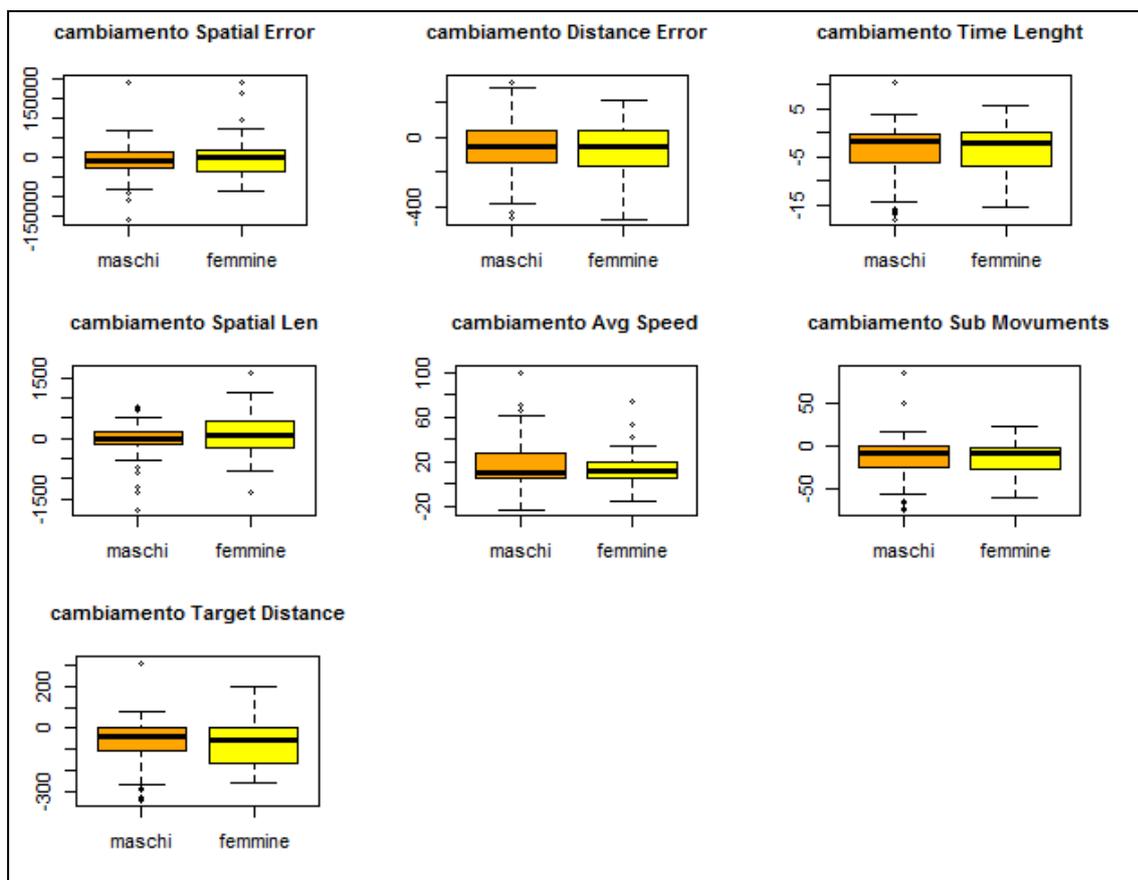


Figura 9. Esercizio Tight Slide: Boxplots delle differenze pre e post terapia delle variabili, caratterizzate per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

Nella considerazione dei pazienti, suddivisi per tipologia di trattamento riabilitativo ricevuto, si evidenzia che il 27% dei pazienti ha ricevuto una terapia riabilitativa di tipo convenzionale (rc) ed il 73% dei pazienti ha ricevuto una terapia riabilitativa virtuale (rv). Infatti, dei 98 pazienti che hanno svolto questo esercizio, 26 pazienti hanno ricevuto la terapia rc e 72 pazienti hanno ricevuto la terapia rv. È possibile notare come in tutte le variabili la mediana delle differenze dei valori pre e post terapia (Fig.10) assuma valori minori nel gruppo di pazienti trattati tramite terapia rv, rispetto al gruppo di pazienti trattati tramite terapia rc, ad eccezione della variabile Avg Speed per la quale la mediana assume un valori maggiore nel gruppo rc.

I range dei valori delle variabili sono maggiori nel gruppo di pazienti rv ed in entrambi i gruppi si nota la presenza di valori anomali.

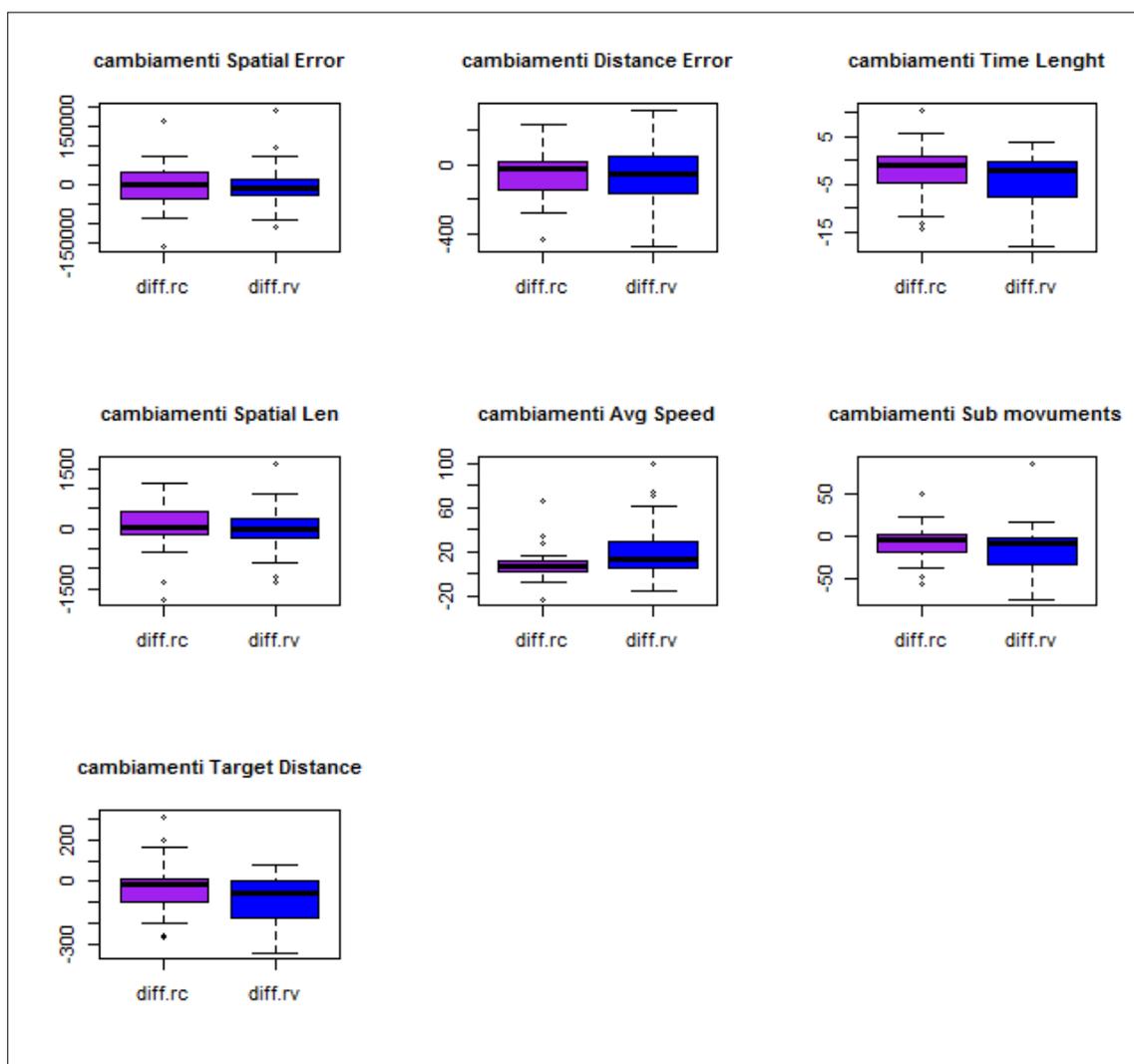


Figura 10. Esercizio Tight Slide: Boxplots delle differenze pre e post terapia delle variabili, caratterizzate per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Simple reaching:**

L'esercizio è stato svolto da 96 pazienti e consiste nell'effettuare un movimento paraboloidale con il braccio a partire dall'anca. I pazienti che hanno svolto questo esercizio hanno un'età media di 57.74 anni (deviazione standard 17.66 anni), mentre la mediana è pari a 60 anni.

Le analisi, effettuate sul campione, ci portano a non accettare l'ipotesi di normalità dei dati a disposizione.

I boxplots (Fig.11) evidenziano un innalzamento delle mediana per le variabili Spatial Error e Avg Speed, mentre per le altre variabili la mediana non subisce cambiamenti, ad eccezione delle variabili Sub Movments e Target Distance per cui diminuisce.

I range dei valori aumentano nel Post terapia per le variabili Spatial Error, Time Lenght, Spatial Len e per la variabile Avg Speed e si evidenzia una asimmetria distributiva in tutte le variabili.

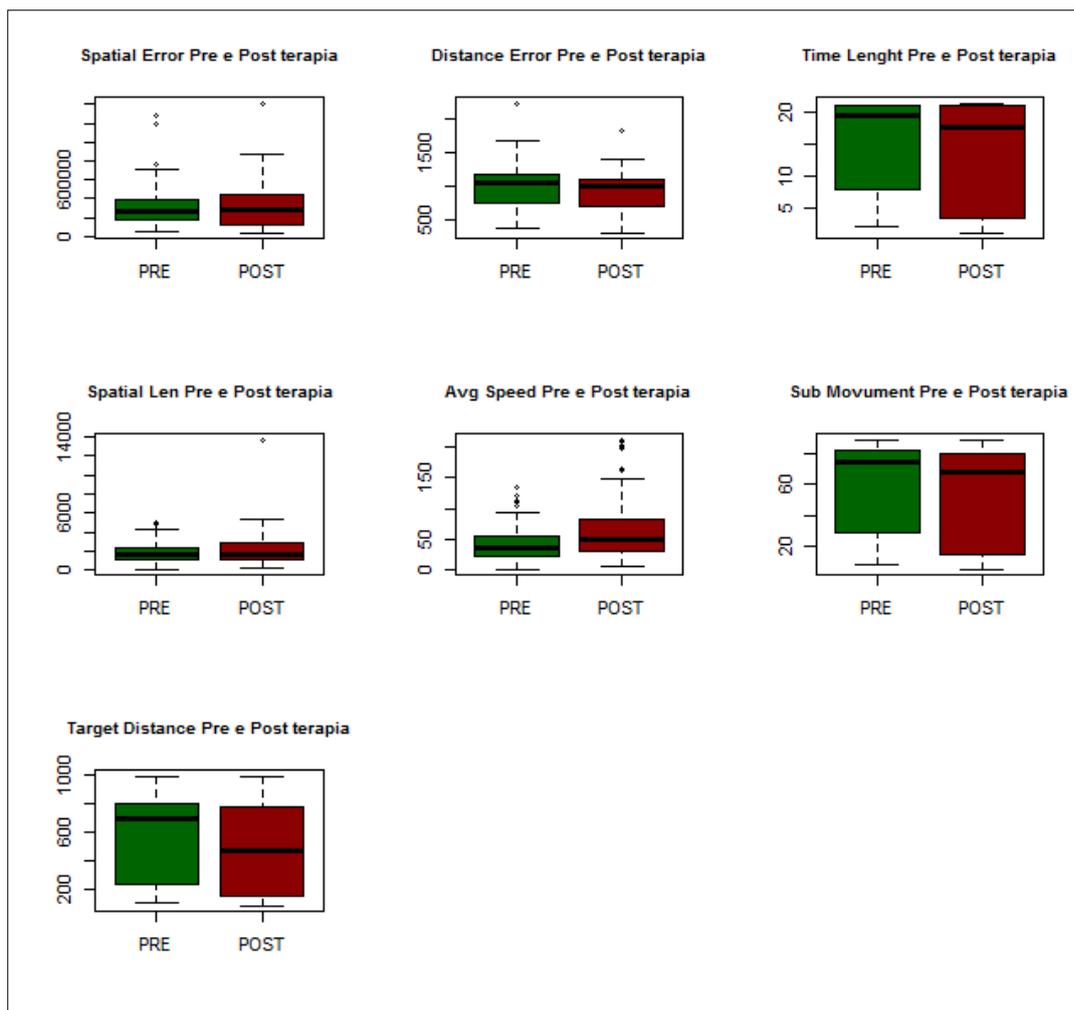


Figura 11. Esercizio Simple Reaching: Boxplots delle variabili.

## ~ caratterizzazione per trauma subito

La caratterizzazione dei dati per trauma subito, nel gruppo di pazienti che hanno svolto l'esercizio, rileva 2 pazienti con Carcinoma, 1 con Mielite, 6 con Trauma Cranici Emorragici, 40 con Ictus Emorragici e 47 pazienti con Ictus Ischemici.

Le variabili non seguono una distribuzione normale e i valori subiscono una diminuzione nel post terapia, ad eccezione della variabile Avg Speed per la quale i valori aumentano.

Le differenze dei valori pre e post terapia delle variabili sono maggiori, in termini di range dei valori, nei pazienti con trauma Ictus Ischemico per le variabili Spatial Error, Distance Error, Spatial Len, Avg Speed e Time Length, come evidenziano i boxplots (Fig.12). Per le altre variabili le differenze pre e post terapia hanno, invece, un range dei valori maggiore nei pazienti con trauma Ictus Emorragico.

Le mediane delle differenze assumono valori più elevati nel gruppo di pazienti Ictus Ischemico, ad eccezione della variabile Target Distance, per la quale la mediana ha un valore maggiore nel gruppo di pazienti Ictus Emorragico.

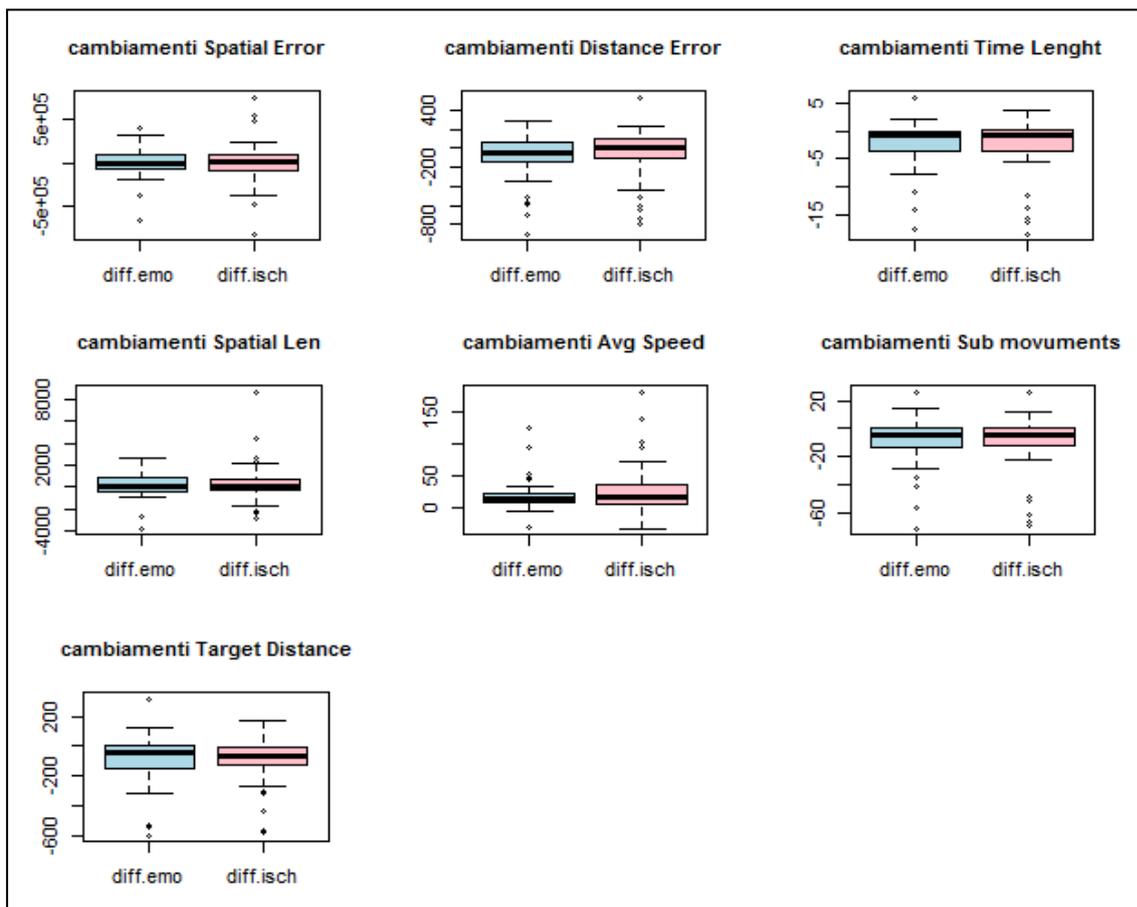


Figura12. Esercizio Simple Reaching: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trauma.

~ **caratterizzazione per genere**

I pazienti che hanno svolto l'esercizio sono costituiti dal 43% di pazienti femmine e dal 57% di pazienti maschi (43 pazienti femmine e 57 pazienti maschi).

In entrambi i generi si verifica una diminuzione dei valori delle variabili in seguito alla terapia, fatta eccezione per le variabili Avg Speed e Target Distance nelle quali i valori aumentano.

Le differenze dei valori delle variabili (Fig.13) suggeriscono che il range dei valori sia più ampio nei pazienti maschi ad eccezione della variabile Target Distance, i cui valori hanno un range maggiore nelle femmine.

I valori delle mediane delle differenze sono maggiori nel gruppo di pazienti maschi per le variabili Avg Speed e Target Distance; mentre per le altre variabili i valori delle mediane sono maggiori nel gruppo di pazienti femmina.

L'età media dei pazienti femmina è di 61.24 anni e la mediana è di 65 anni, mentre per i maschi la media è di 55.13 anni e la mediana di 58 anni. Le deviazioni standard sono pari a 16 anni per i pazienti femmina e a 18.51 anni per i pazienti maschi.

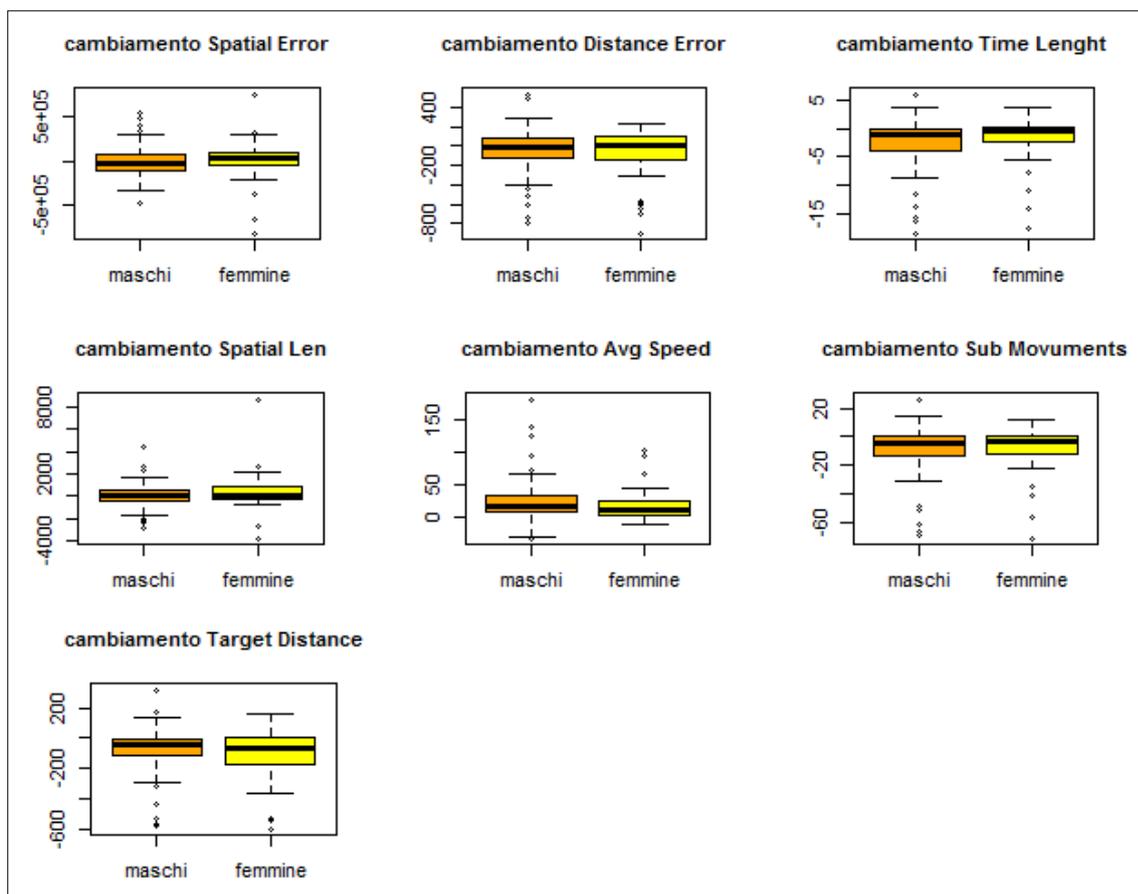


Figura 13. Esercizio Simple Reaching: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

Le analisi effettuate sui 96 pazienti, suddivisi per trattamento riabilitativo ricevuto in 26 pazienti con trattamento rc (27% dei pazienti) e 70 pazienti con trattamento rv (73% dei pazienti), evidenziano che le mediane delle differenze dei valori pre e post terapia (Fig.14) sono più elevate nel gruppo di pazienti trattati tramite rc. Nella variabile Avg Speed, invece, la mediana assume un valore maggiore nel gruppo di pazienti rv. Il range dei valori è maggiore nel gruppo di pazienti rv per tutte le variabili analizzate.

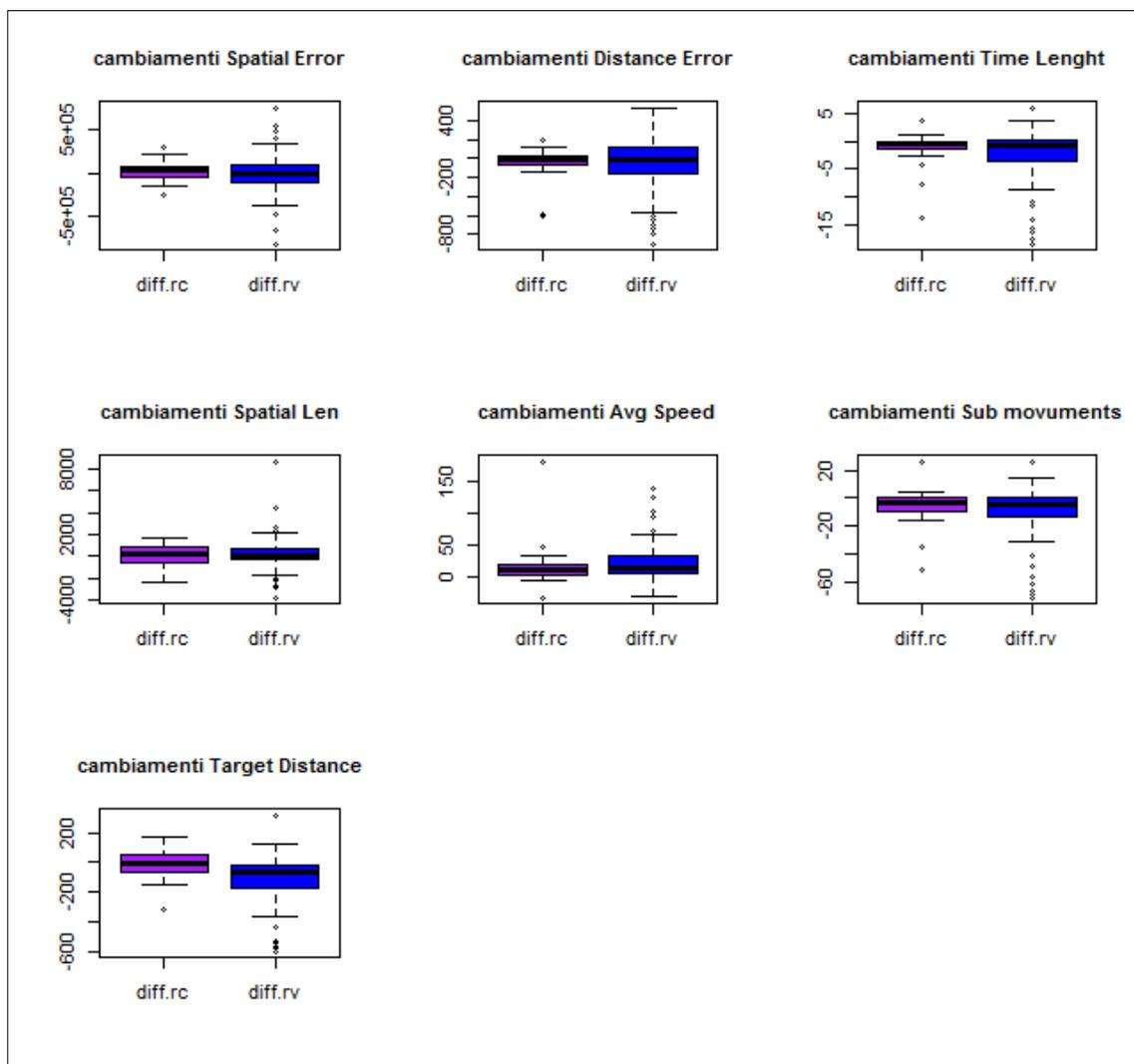


Figura 14. Esercizio Simple Reaching: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Elbow flexion:**

L'esercizio consta nella flessione del gomito per riprodurre l'azione del sollevamento di un bicchiere ed è stato svolto da 94 pazienti. I pazienti hanno un'età media pari a 57.93 anni, una deviazione standard di 17.54 anni ed una mediana di 60.5 anni.

Il campione non segue una distribuzione normale, ipotesi sostenuta anche dai p-values dei test di Shapiro Wilk. È presente un alzamento della mediana per i valori della variabile Avg Speed nel post terapia, per le altre variabili, invece, la mediana diminuisce (Fig.15). I range dei valori diminuiscono in modo evidente ad eccezione della variabile Avg Speed per cui c'è un aumento di variabilità.

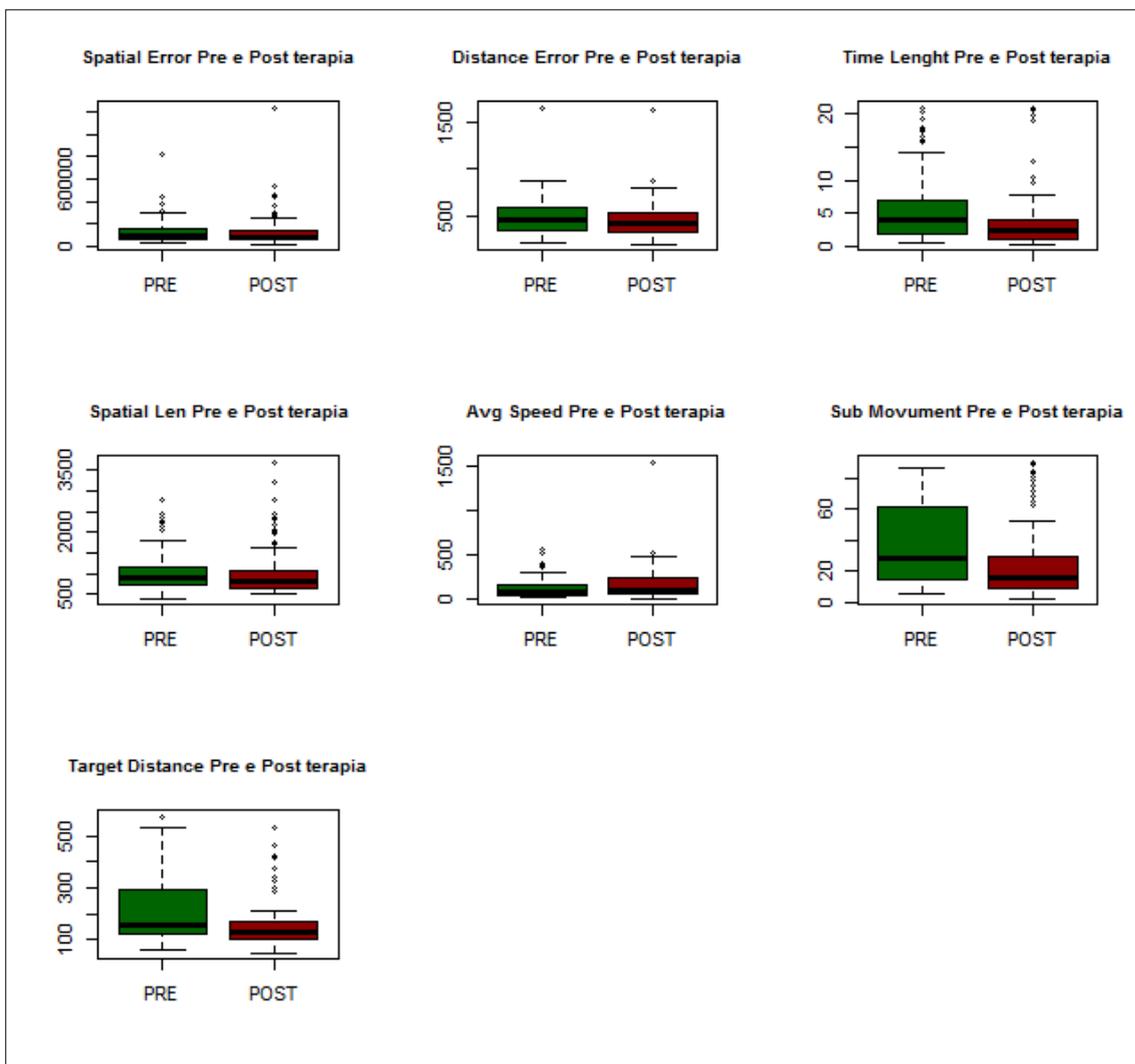


Figura 15. Esercizio Elbow Flexion: Boxplots delle variabili.

~ **caratterizzazione per trauma subito**

I traumi subiti dai pazienti in questo esercizio riabilitativo sono: 2 Carcinoma, 1 Mielite, 6 Trauma Cranici Emorragico, 41 Ictus Emorragico e 44 Ictus Ischemico. Le analisi rivelano che i dati non sono normali. I valori diminuiscono in seguito alla terapia per entrambi gli Ictus, ad eccezione della variabile Avg Speed.

Confrontando le differenze dei valori pre e post terapia (Fig.16), si nota che i valori della mediana sono maggiori nel gruppo di pazienti Ictus Ischemico per le variabili: Spatial Error e Spatial Len; mentre per le altre variabili il valore della mediana è maggiore nel gruppo di pazienti Ictus Emorragico. Tutti i valori delle differenze delle variabili hanno un range maggiore nei pazienti che hanno subito un Ictus Ischemico.

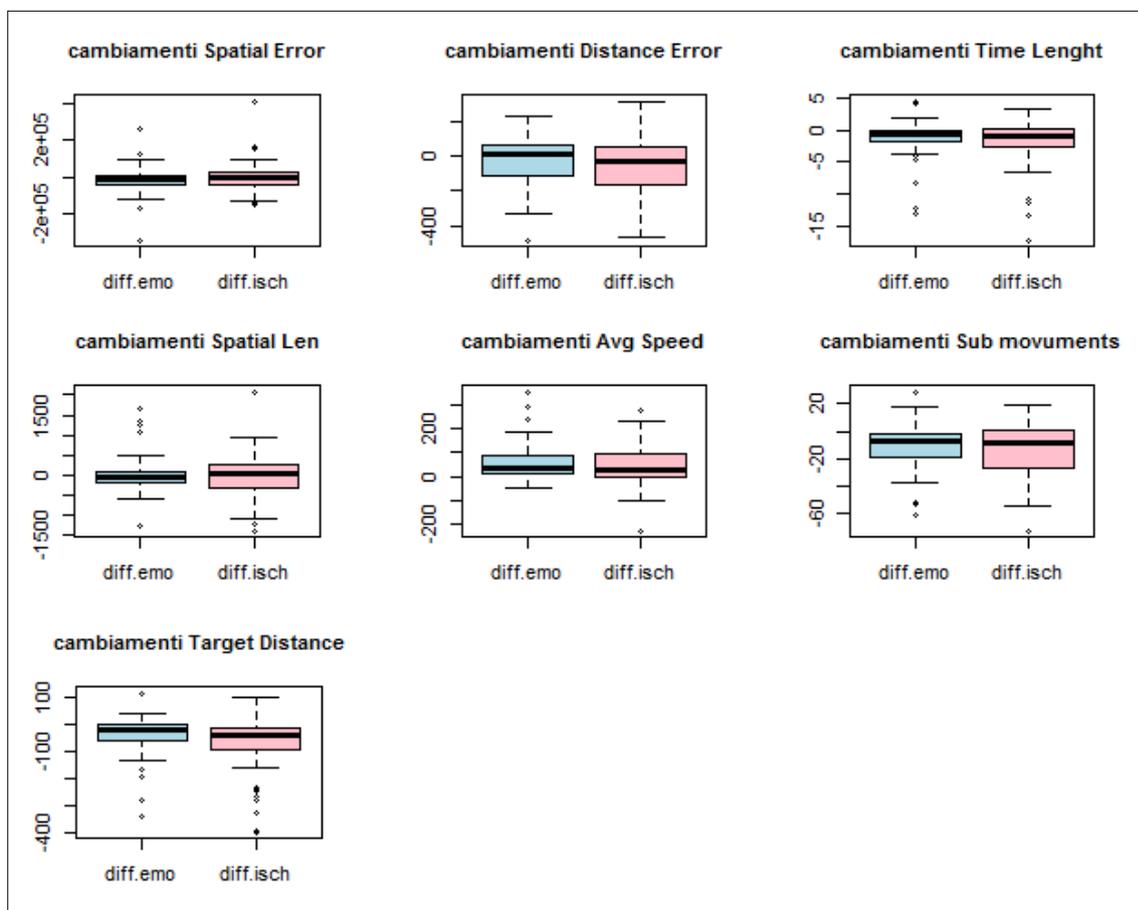


Figura 16. Esercizio Elbow Flexion: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trauma.

### ~ caratterizzazione per genere

I pazienti, suddivisi in base al genere, sono costituiti per il 39% in pazienti femmine e per il 61% in pazienti maschi (37 pazienti femmina e 57 pazienti maschi). I valori dei dati non assumono una distribuzione normale. Le analisi inducono a pensare che per entrambi i generi vi sia una diminuzione dei valori delle variabili in seguito alla terapia (eccetto per la variabile Avg Speed) e che il range dei valori sia maggiore nei maschi.

Analizzando i cambiamenti dei valori delle variabili, in termini di differenza dei valori pre e post terapia (Fig.17), la mediana assume valori maggiori nel gruppo di pazienti femmine per le variabili Spatial Error, Spatial Len e Avg Speed e nel gruppo di pazienti maschi per le altre variabili. È presente una differenza nel range dei valori, più ampio nelle femmine, per le variabili Sub Movements e Target Distance, mentre per le altre variabili il range dei valori è più ampio nei maschi.

Per l'età dei pazienti, si trova che la mediana delle età è maggiore nelle donne (58 anni per i maschi e 66 anni per le femmine), così come la media (62.08 anni per le donne e 55.23 anni per gli uomini), con deviazioni standard di 15.82 anni per le femmine e 18.19 anni per i maschi.

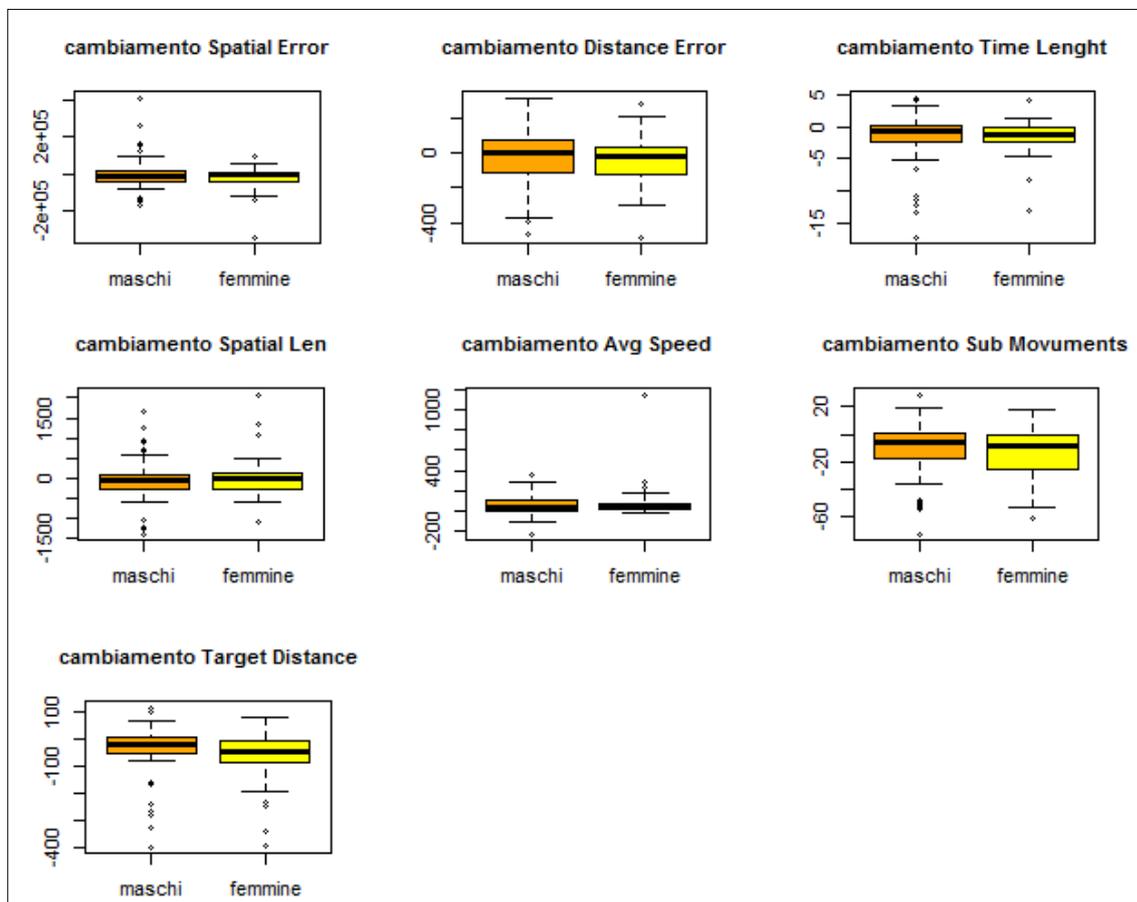


Figura 17. Esercizio Elbow Flexion: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

Caratterizzando i pazienti, che hanno svolto questo tipo di esercizio, per la tipologia di trattamento ricevuto, si osserva che il 27% dei pazienti ha svolto la terapia di tipo rc ed il 73% dei pazienti ha svolto la terapia di tipo rv (25 pazienti rc e 69 pazienti rv).

I valori assunti nelle differenze dei valori pre e post terapia (Fig.18), nella suddivisione dei pazienti per tipologia di riabilitazione effettuata, evidenziano che le mediane sono maggiori nel gruppo di pazienti con terapia rv per tutte le variabili, eccetto la variabile Time Length. Per entrambi i gruppi di pazienti si evidenzia la presenza di valori anomali.

Il range dei valori è maggiore nel gruppo rv per tutte le variabili.

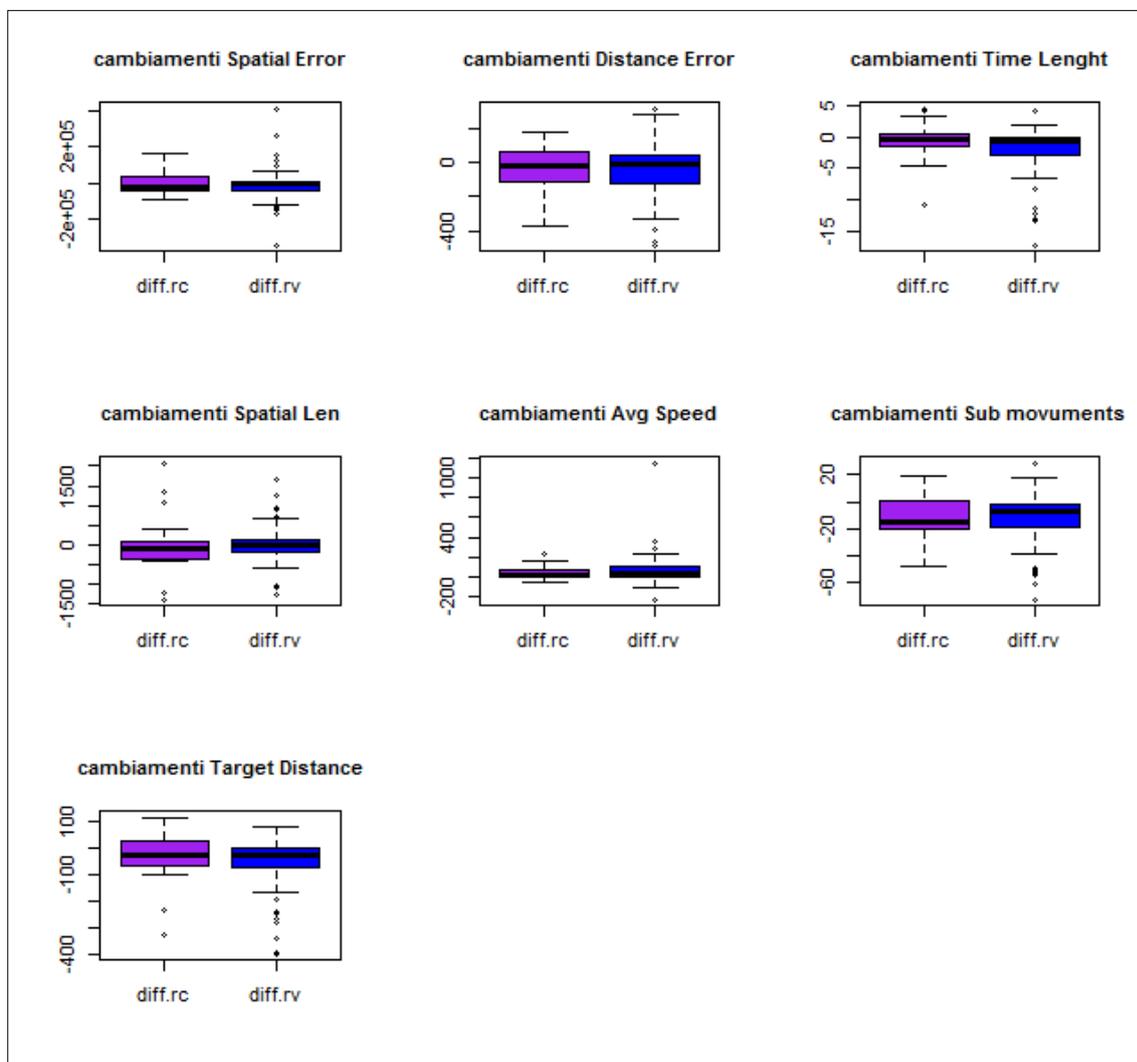


Figura 18. Esercizio Elbow Flexion: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Elevazione:**

Nell'esercizio di Elevazione, svolto da 94 pazienti, i soggetti devono riuscire ad alzare il braccio mantenendolo flesso. I pazienti hanno un'età media di 58.43 anni (deviazione standard di 17.35 anni) ed una mediana di 61 anni.

Le osservazioni non si distribuiscono normalmente ed i boxplots (Fig.19) evidenziano un innalzamento delle mediana per la variabile Avg Speed nel post terapia, mentre per le altre variabili la mediana diminuisce.

Il range dei valori rimane costante solo per la variabile Time Length, mentre. Per le variabili Spatial Error, Avg Speed, Sub Movements e Target Distance il range aumento, mentre per le variabili Distance Error e Spatial Len il range diminuisce.

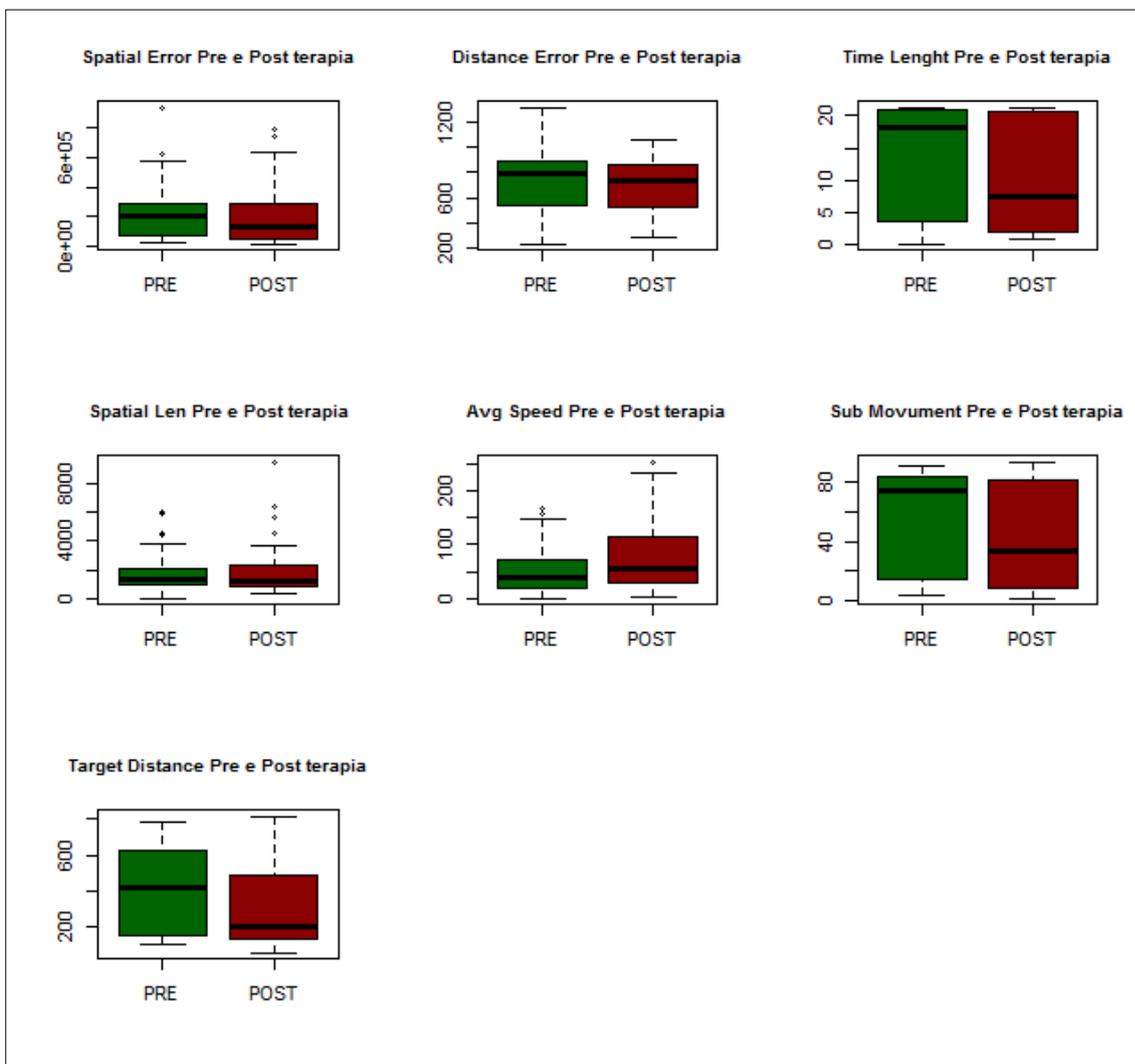


Figura 19. Esercizio Elevazione: Boxplots delle variabili.

## ~ caratterizzazione per trauma subito

La caratterizzazione dei dati per trauma subito rileva tra i pazienti 2 Carcinoma, 1 Mielite, 6 Trauma Cranici Emorragici, 39 Ictus Emorragici e 46 Ictus Ischemici. Le analisi evidenziano che i dati non sono normali e tutte le variabili, eccetto Avg Speed, subiscono una diminuzione dei valori.

Nelle differenze dei valori pre e post terapia, rappresentanti il cambiamento dei pazienti (Fig.20), le mediane sono maggiori nel gruppo Ictus Emorragico per le variabili: Distance Error e Sub Movements e per il gruppo Ictus Ischemico nelle altre variabili. I range dei valori delle variabili sono maggiori per il trauma Ictus Emorragico per le variabili Spatial Error, Spatial Len e Target Distance, mentre sono maggiori per il trauma Ictus Ischemico per le altre variabili.

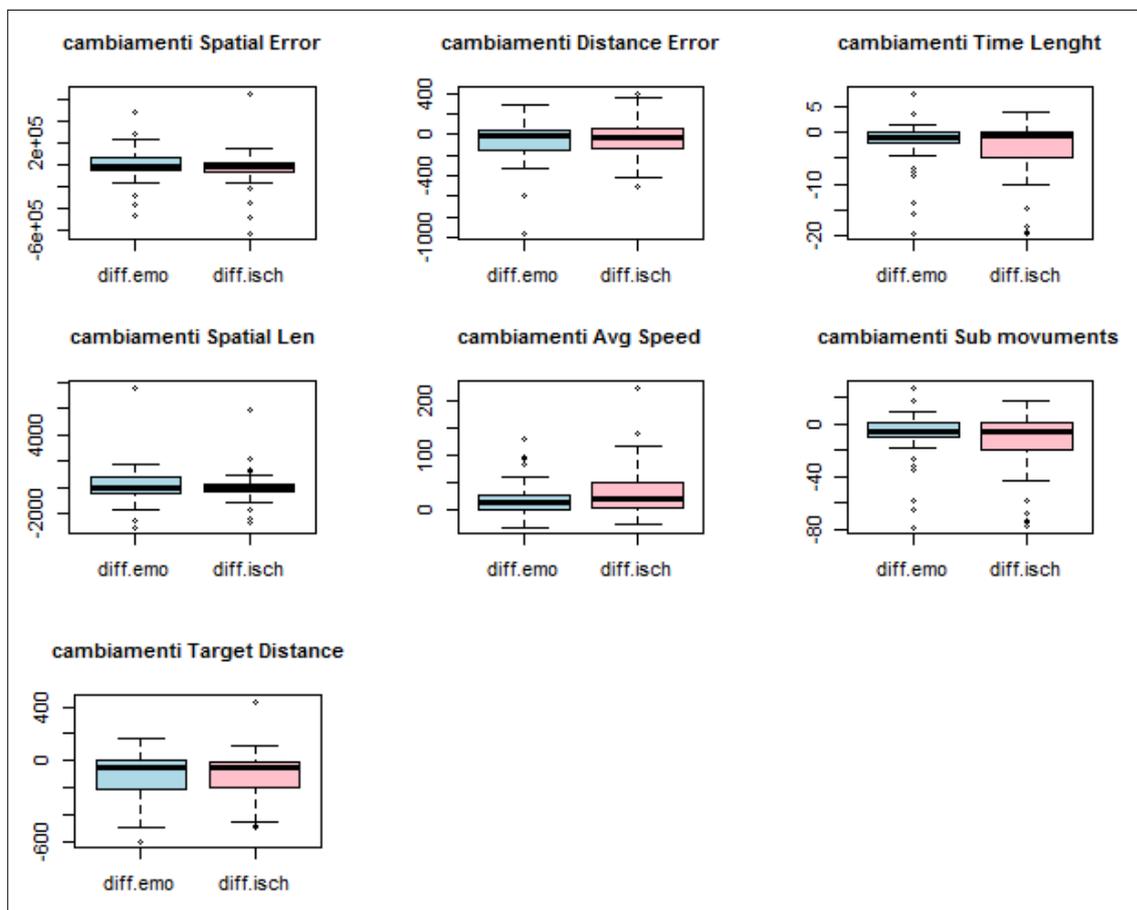


Figura 20. Esercizio Elevazione: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trauma.

~ **caratterizzazione per genere**

L'esercizio è stato svolto da 38 pazienti femmine (il 40% dei pazienti è di genere femminile) e 56 pazienti maschi (il 60% dei pazienti è di genere maschile). I valori delle variabili diminuiscono dal pre al post terapia per tutte le variabili, eccetto per la variabile Avg Speed.

Il range delle differenze tra i valori pre e post terapia (Fig.21) è maggiore nei maschi rispetto alle femmine in tutte le variabili, tranne le variabili Spatial Len e Target Distance.

La mediana delle differenze dei valori assume valori più elevati nel gruppo di pazienti femmine per tutte le variabili.

L'età media dei pazienti che hanno svolto questo esercizio è pari a 56.14 anni per i maschi (standard error 18.03 anni) e 61.79 anni per le femmine (standard error 15.94 anni); la mediana è 59 anni per i maschi e 65.5 anni per le femmine.

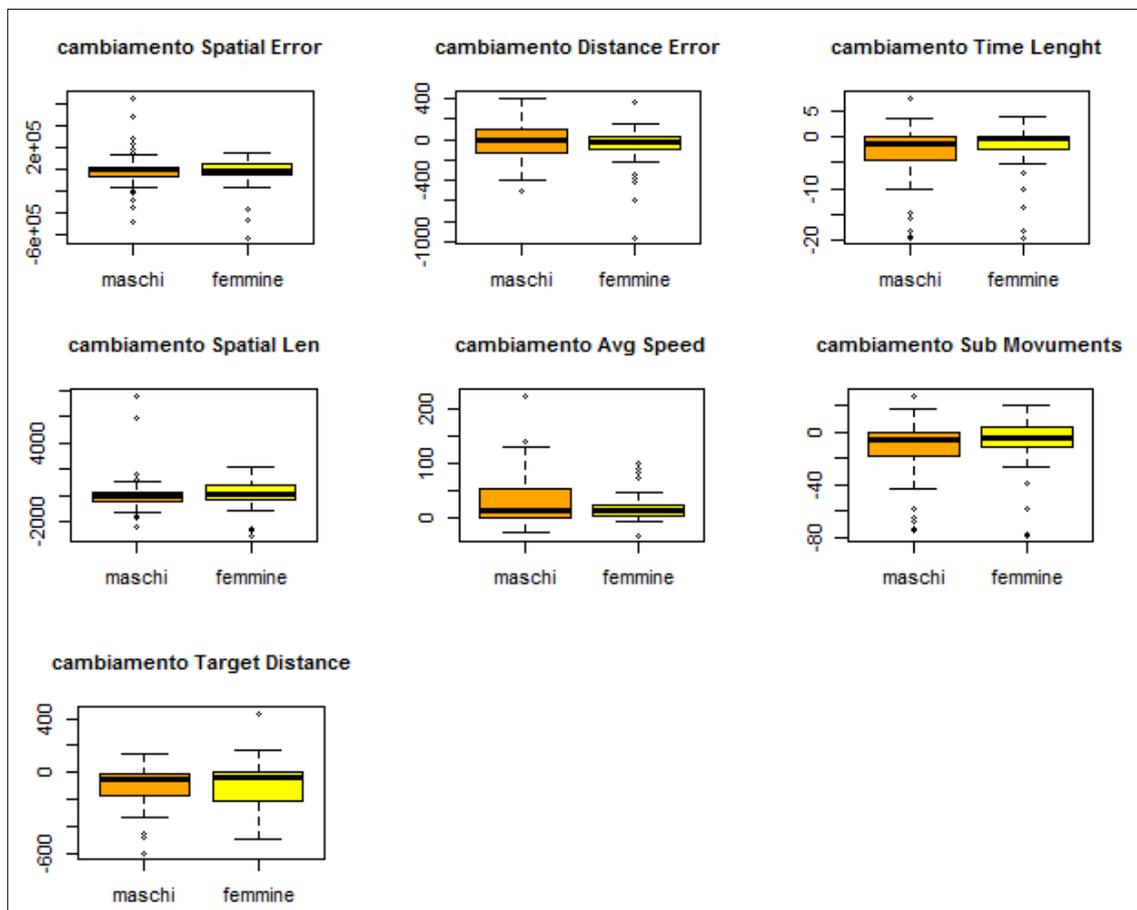


Figura 21. Esercizio Elevazione: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

La caratterizzazione dei pazienti per trattamento riabilitativo ricevuto, evidenzia che il 26% dei pazienti ha effettuato un ciclo di terapia riabilitativa di tipo rc ed il 72% dei pazienti invece un ciclo di terapia di tipo rv (26 pazienti rc e 68 pazienti rv).

Le mediane delle differenze dei valori pre e post terapia (Fig.22), si presentano maggiori nei pazienti appartenenti al gruppo rc per le variabili Spatial Error, Time Length, Sub Movements e Traget Distance; mentre i valori delle mediane sono maggiori nel gruppo di pazienti rv per le altre variabili.

Il range dei valori è maggiore nel gruppo rv per le variabili Distance Error, Time Length, Spatial Len, Avg Speed e Sub Movements, mentre è maggiore nel gruppo rc per le altre variabili osservate.

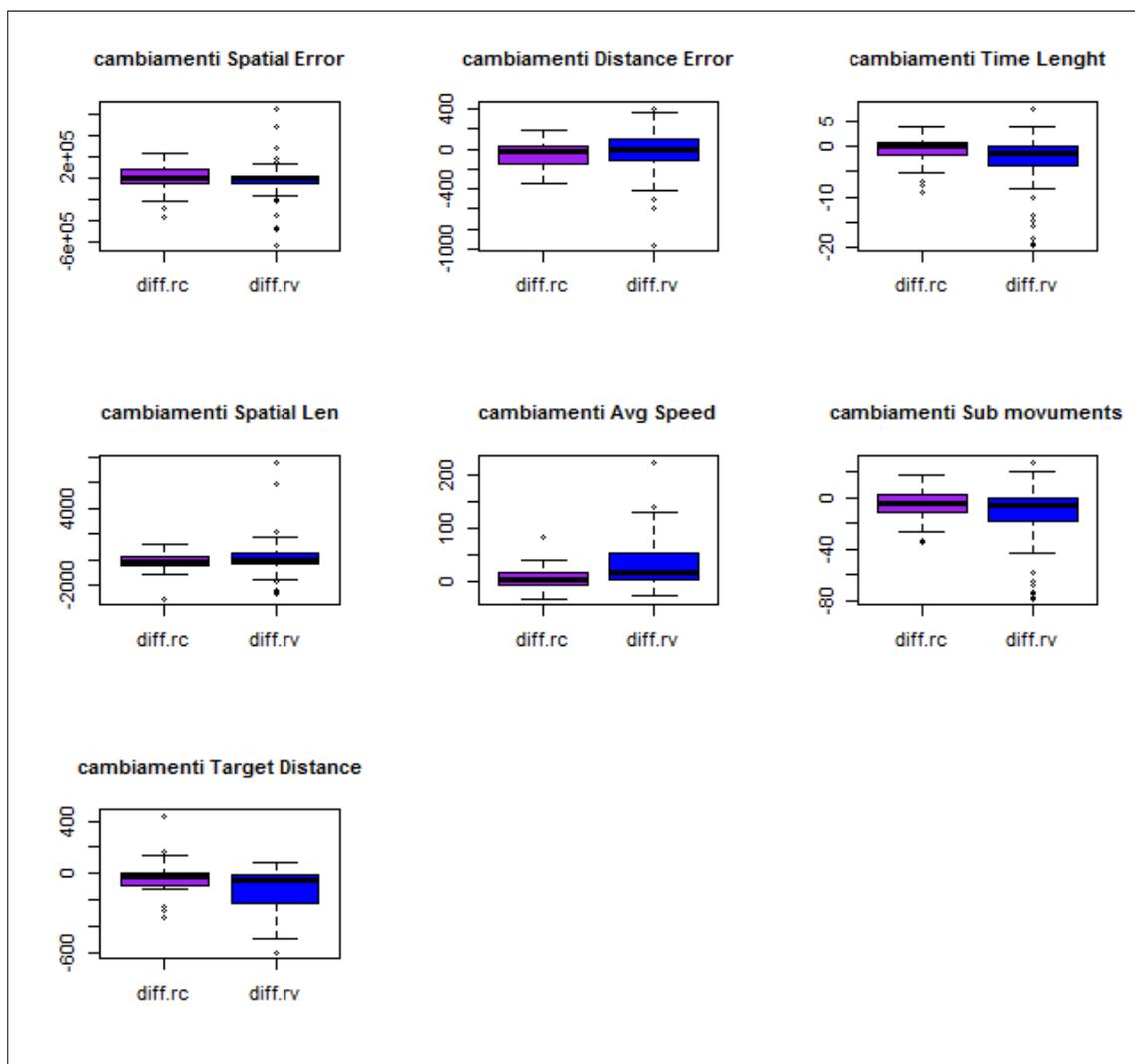


Figura 22. Esercizio Elevazione: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Abduzione destra con Gomito flesso:**

I 96 pazienti che hanno svolto questo esercizio dovevano compiere un movimento di allontanamento *del braccio* dal tronco.

I pazienti hanno un'età media di 58.51 anni (deviazione standard 17.25 anni) ed una mediana di 61 anni. I diagrammi quantile contro quantile ed i p-values dei test di Shapiro Wilk confermano l'ipotesi di non normalità.

Le mediane, come indicano i boxplots (Fig.23), subiscono un abbassamento del valore in tutte le variabili tranne che nella variabile Avg Speed, nella quale la mediana subisce un incremento nei valori post terapia.

I range dei valori rimangono costanti ad eccezione per le variabili Avg Speed, Spatial Error per i quali c'è un aumento di variabilità e per la variabile Target Distance per la quale il range diminuisce.

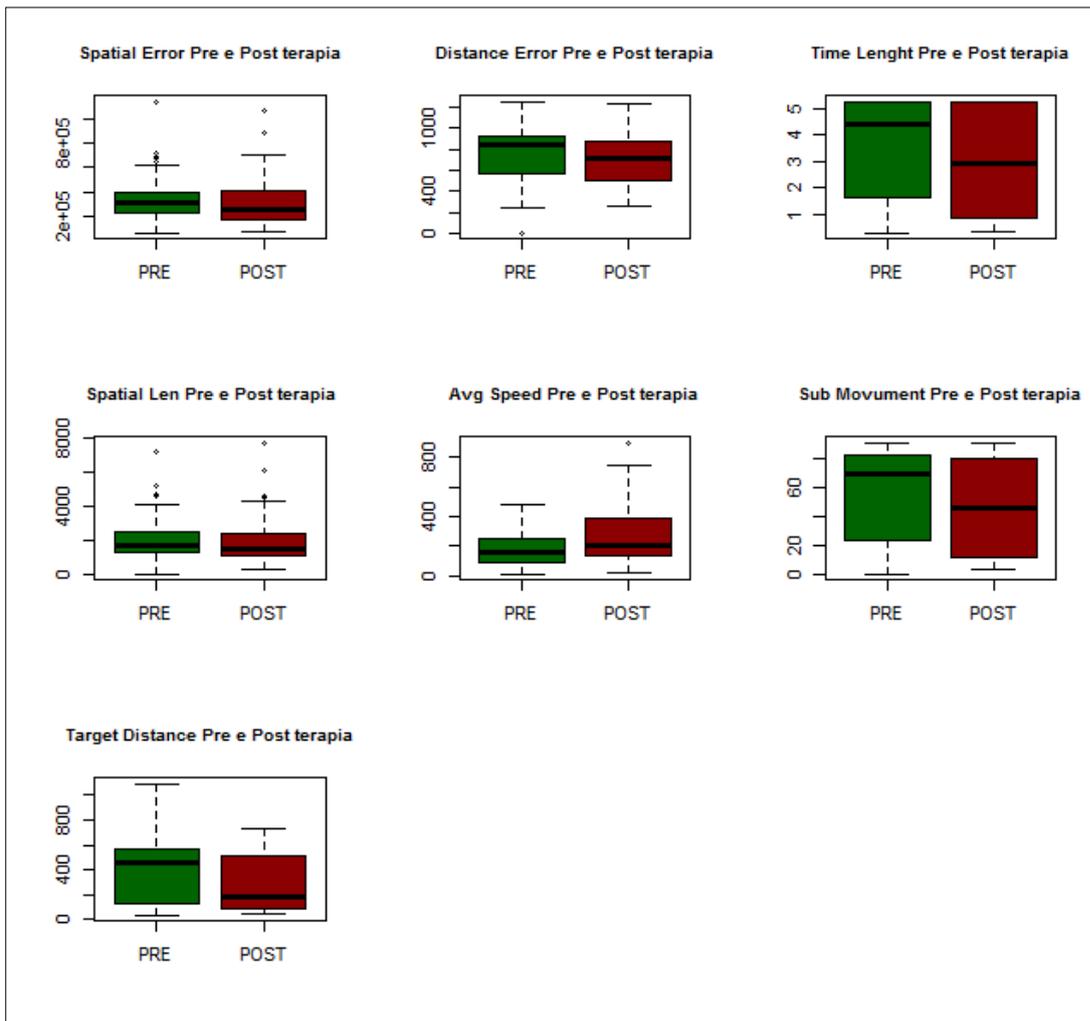


Figura 23. Esercizio Abduzione: Boxplots delle variabili.

~ **caratterizzazione per trauma subito**

La caratterizzazione dei dati per trauma subito rileva che, in questo esercizio, i pazienti possono essere suddivisi in 2 pazienti con Carcinoma, 1 paziente con Mielite, 6 pazienti con Trauma Cranico Emorragico, 41 pazienti con Ictus Emorragico e 46 pazienti con Ictus Ischemico. Analizzando i dati dei pazienti si nota che, nella valutazione effettuata nel post terapia, i valori diminuiscono per tutte le variabili, tranne che per la variabile Avg Speed.

Nell'analisi delle differenze pre e post terapia, realizzata sui dati dei pazienti che hanno subito Ictus Ischemico ed Ictus Emorragico (Fig.24), i range dei valori nei pazienti con Ictus Emorragico è maggiore rispetto all'altro gruppo di pazienti per tutte le variabili ad eccezione della variabile Distance Error, Avg Speed e Target Distance; mentre le mediane hanno valori più elevati nel gruppo di pazienti Ictus Ischemico per tutte le variabili.

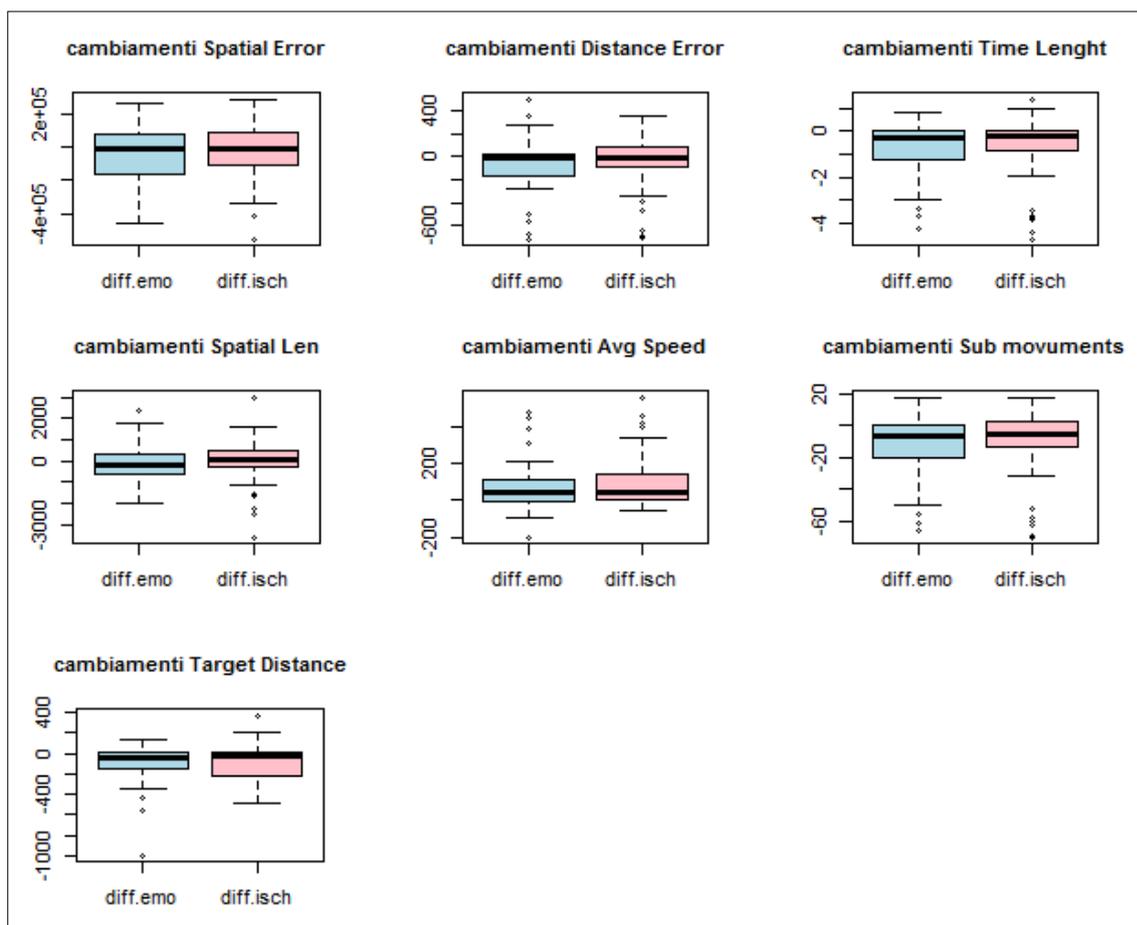


Figura 24. Esercizio Abduzione: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trauma.

### ~ caratterizzazione per genere

Le analisi svolte sui dati dei pazienti evidenziano che il 59% dei pazienti è di genere maschile ed il 41% è di genere femminile (39 pazienti femmine e 57 pazienti maschi). Le variabili non presentano una distribuzione normale e viene rilevata una diminuzione dei loro valori nel post terapia per tutti i pazienti, eccetto che per la variabile Avg Speed.

Le differenze dei valori pre e post terapia (Fig.25) hanno mediane più elevate nel gruppo di pazienti di genere femminile per tutte le variabili, eccetto per le variabili Target Distance e Avg Speed, per le quali la mediana è maggiore nel gruppo di pazienti maschi. I range sono più elevati nel gruppo di pazienti maschi per tutte le variabili.

Esplorando i dati in base al genere, otteniamo che l'età media è 56.07 anni per i maschi (deviazione standard di 17.88 anni) ed una mediana di 58 anni e di 62.08 anni per le femmine (deviazione standard di 15.83) ed una mediana di 66 anni.

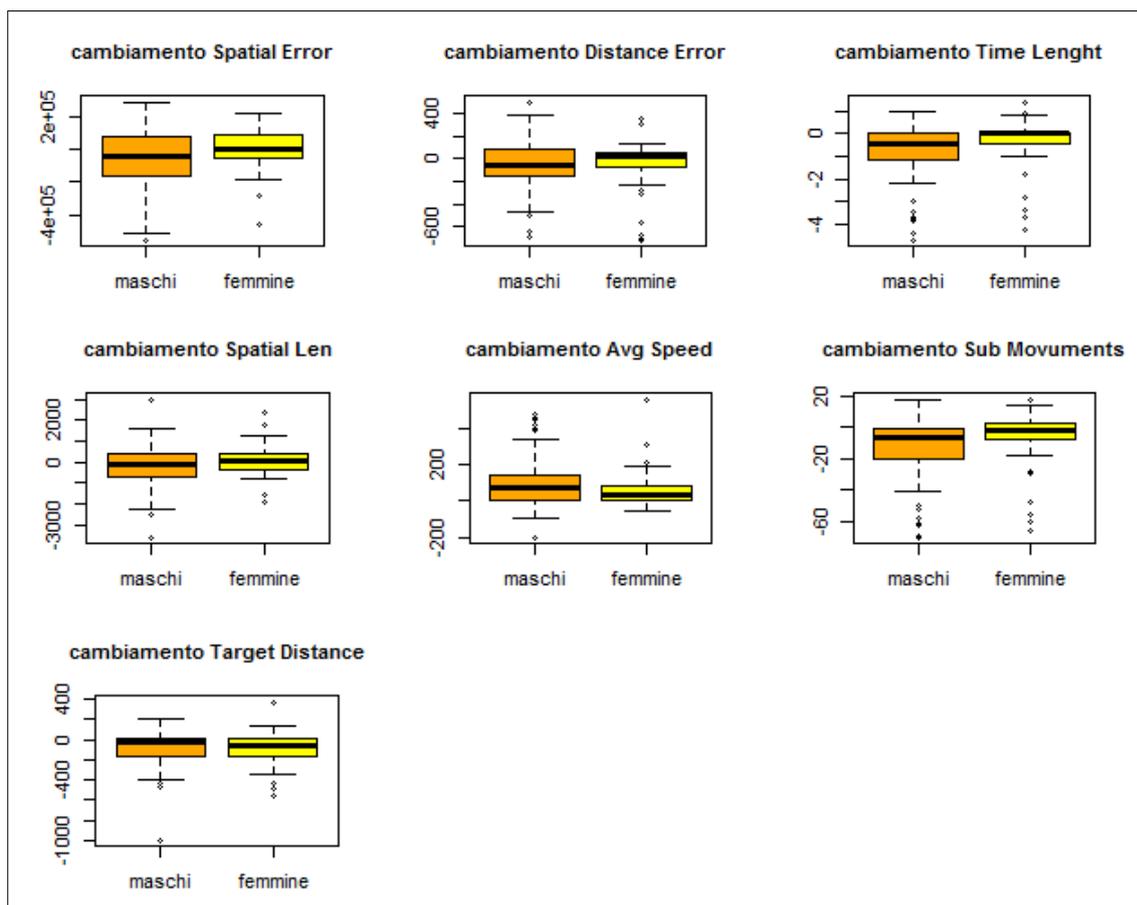


Figura 25. Esercizio Abduzione: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

In questo esercizio il 27% dei pazienti ha ricevuto una terapia riabilitativa di tipo rc ed il 73% dei pazienti una terapia riabilitativa di tipo rv (26 pazienti rc e 70 pazienti rv).

Le analisi dei valori delle differenze delle variabili pre e post terapia (Fig.26), evidenziano che le mediane assumono valori minori nel gruppo di pazienti rv, rispetto al gruppo rc, per tutte le variabili, ad eccezione della variabili Avg Speed. Il range di valori assunti è maggiore nel gruppo rv per tutte le variabili oggetto di studio.

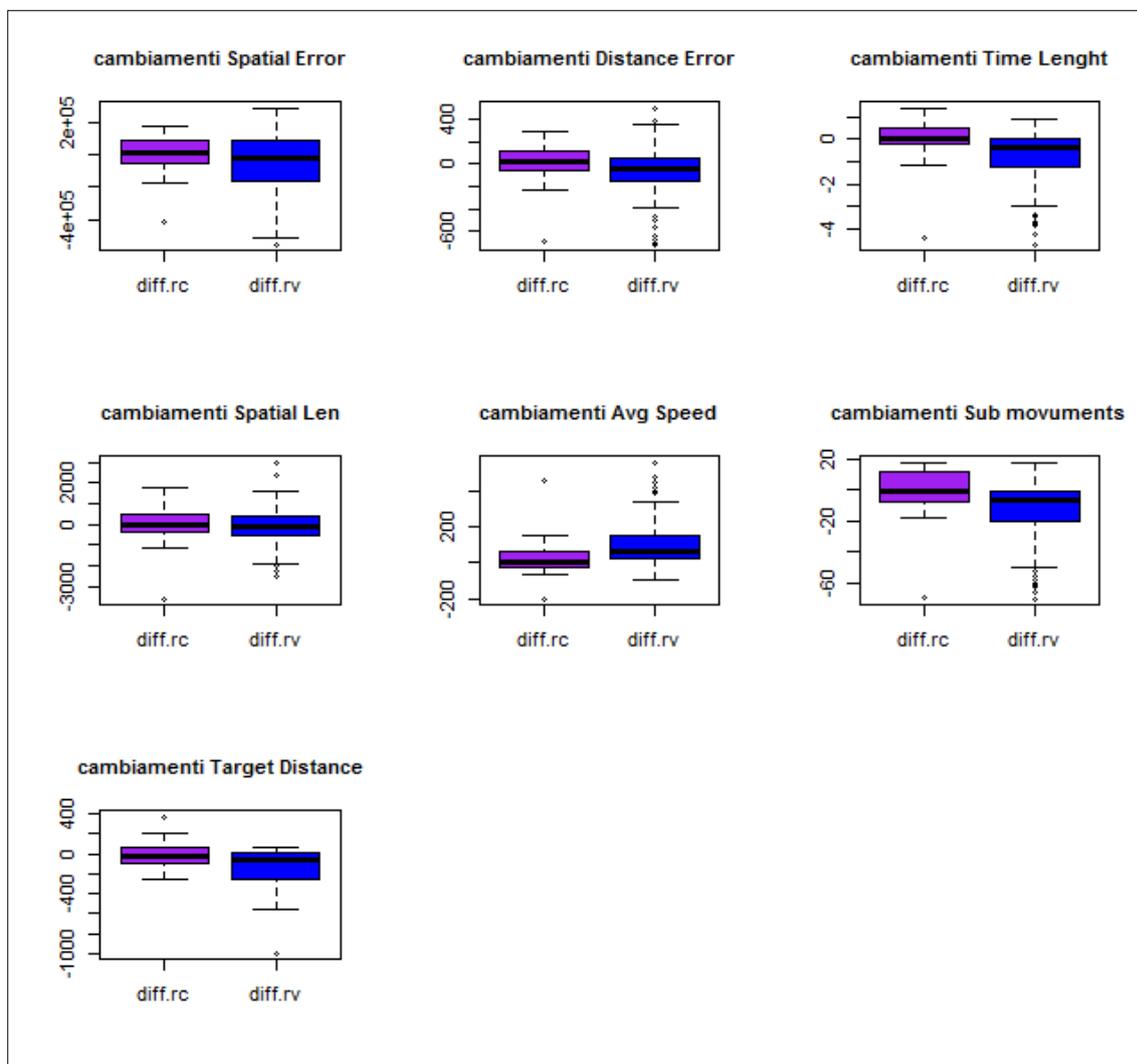


Figura 26. Esercizio Abduzione: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Anca sinistra- Ginocchio destro:**

L'esercizio viene svolto da 94 pazienti in posizione seduta e consiste nel tracciare una diagonale sulle gambe con il braccio a partire dall'anca sinistra sino ad arrivare al ginocchio destro. Le osservazioni non seguono una distribuzione normale ed il test di Shapiro Wilk confermano questa ipotesi.

I boxplots (Fig.27) evidenziano un abbassamento della mediana per tutte le variabili, ad eccezione della variabile Avg Speed. I range dei valori rimangono costanti solo per la variabile Spatial Error; mentre per le variabili Avg Speed e Distance Error c'è un aumento nel range di valori e per le variabili Target Distance, Time Length e Spatial Len il range diminuisce.

I pazienti hanno un'età media di 58.36 anni (standard error 17.32 anni) ed un'età mediana di 61 anni.

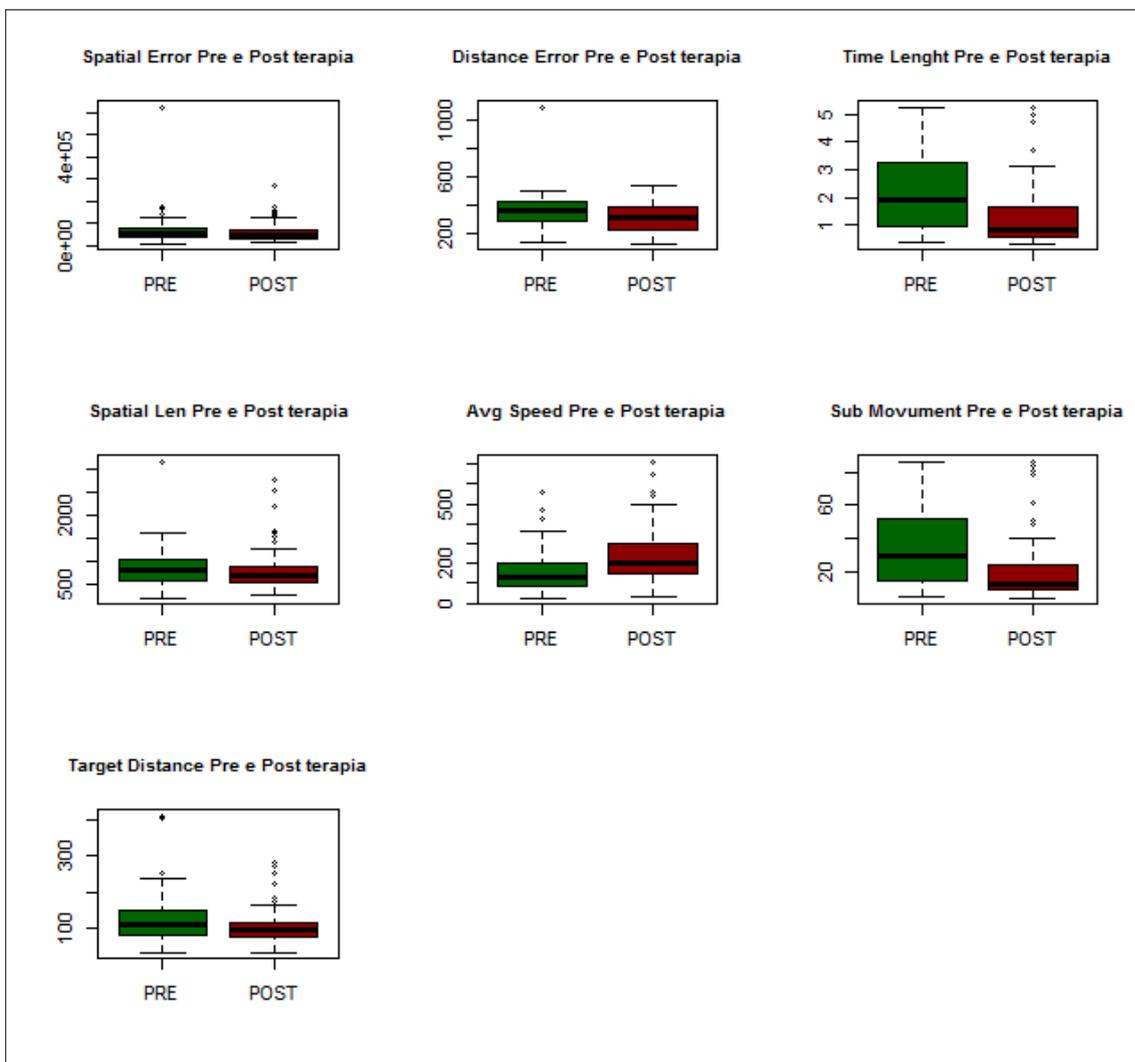


Figura 27. Esercizio Anca sx – Ginocchio dx: Boxplots delle variabili.

~ **caratterizzazione per trauma subito**

I traumi sono ripartiti, per questo gruppo di pazienti, in 2 pazienti con Carcinoma, 1 con Mielite, 6 con Tce, 39 con Ictus Emorragico e 46 con Ictus Ischemico. Le analisi sui dati dei pazienti dei gruppi Ictus Ischemico ed Ictus Emorragico (Fig.23), suggeriscono che vi siano miglioramenti in seguito alla terapia per tutte le variabili (i valori delle variabili diminuiscono, tranne la variabile Avg Speed che aumenta).

L'analisi effettuata sulle differenze dei valori pre e post terapia (Fig.28) porta a formulare l'ipotesi che la mediana delle variabili sia maggiore nel gruppo di pazienti Ictus Ischemico per tutte le variabili, ad eccezione della variabile Avg Speed, per la quale, la mediana è maggiore appartenenti al gruppo del trauma Ictus Emorragico.

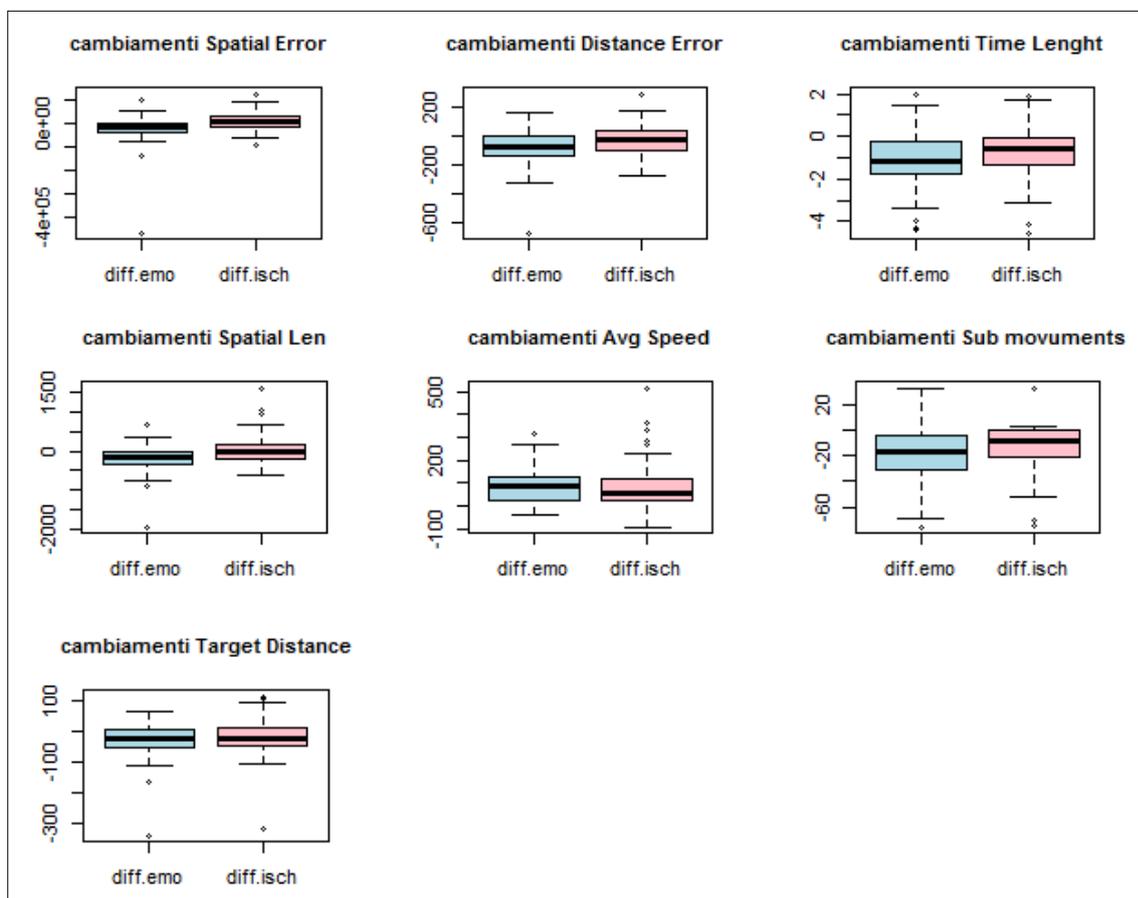


Figura 28. Esercizio Anca sx-Ginocchio dx: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trauma.

~ **caratterizzazione per genere**

Il 59% dei pazienti che hanno svolto l'esercizio è di genere maschile, mentre il 41% dei pazienti è di genere femminile (39 pazienti femmine e 55 pazienti maschi). Le variabili non sono normali ed è presente una diminuzione dei valori (tranne che per la variabile Avg Speed) per entrambi i gruppi.

Il range delle differenze dei valori pre e post terapia (Fig.29) è maggiore nel gruppo di pazienti femmine rispetto al gruppo di pazienti maschi in tutte le variabile tranne che per le variabili Spatial Error, Distance Error e Target Distance.

Le mediane delle differenze delle variabili hanno valori più elevati nel gruppo di pazienti maschi, rispetto al gruppo di pazienti femmine.

L'età dei pazienti maschi è inferiore a quella dei pazienti donna (62.08 anni per le donne e 55.73 anni nei maschi), così come la loro mediana (66 anni per le donne e 58 anni per gli uomini). La deviazione standard è inferiore nel gruppo di pazienti femmina (15.83 anni per le donne e 17.98 anni per i maschi).

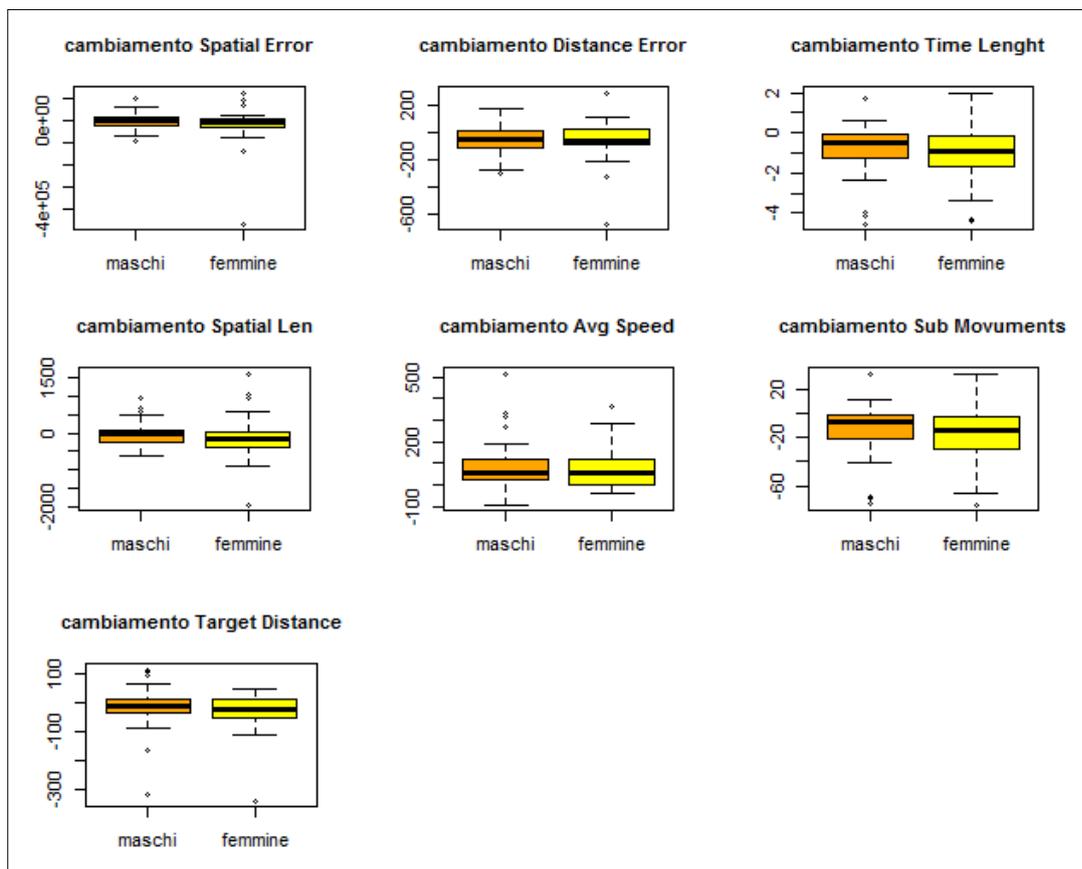


Figura 29. Esercizio Anca sx – Ginocchio dx: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

Dei pazienti che hanno svolto questo esercizio, il 28% ha ricevuto un trattamento di tipo rc ed il 72% un trattamento di tipo rv (26 pazienti rc e 68 pazienti rv).

Lo studio della differenza dei valori pre e post terapia (Fig.30) induce ad affermare che le mediane di tutte le variabili assumono valori minori per il gruppo di pazienti rv, ad eccezione della variabile Avg Speed, per la quale la mediana assume un valori minore nel gruppo di pazienti rc.

Il range dei valori assunti è maggiore nel gruppo di pazienti rv per le variabili Spatial Error, Spatial Len, Avg Speed e Target Distance; per le altre variabili il range dei valori è maggiore nel gruppo di pazienti rc.

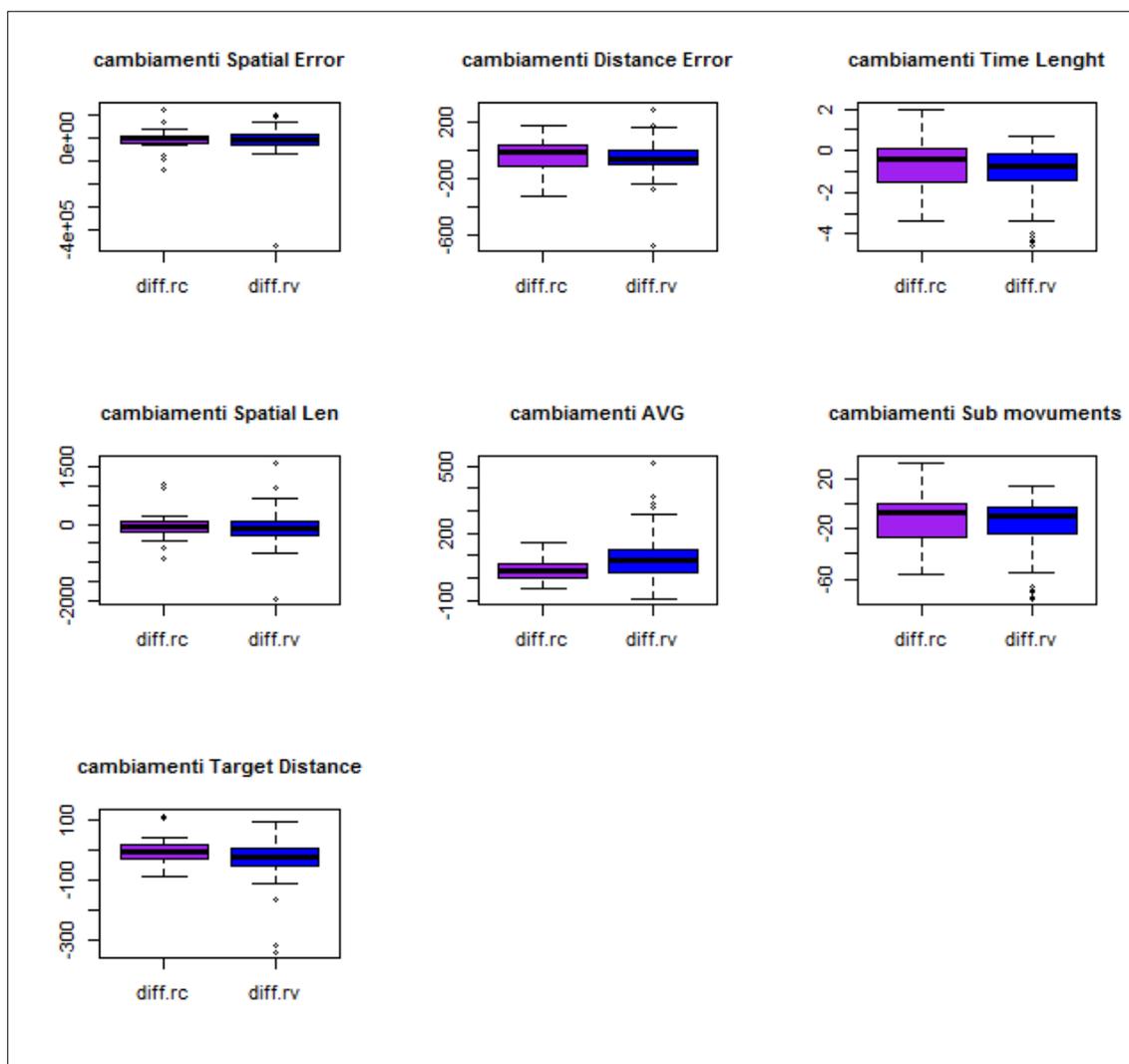


Figura 30. Esercizio Anca sx – Ginocchio dx: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Extrarotazione:**

I 95 pazienti che hanno svolto questo esercizio dovevano riuscire a ruotare il gomito con il braccio sollevato. La mediana delle età dei pazienti è di 60 anni, la media è di 58.14 anni e la deviazione standard è pari a 17.15.

Nessuna delle variabili segue la distribuzione normale, ipotesi verificata mediante il test di Shapiro Wilk.

Le variabili, ad eccezione della variabile Avg Speed, evidenziano, mediante i boxplots (Fig. 31), un abbassamento dei valori della mediana in seguito alla terapia. Il range dei valori delle variabili Spatial Error, Spatial Len e Target Distance diminuisce nel post terapia, mentre aumenta per le altre variabili.

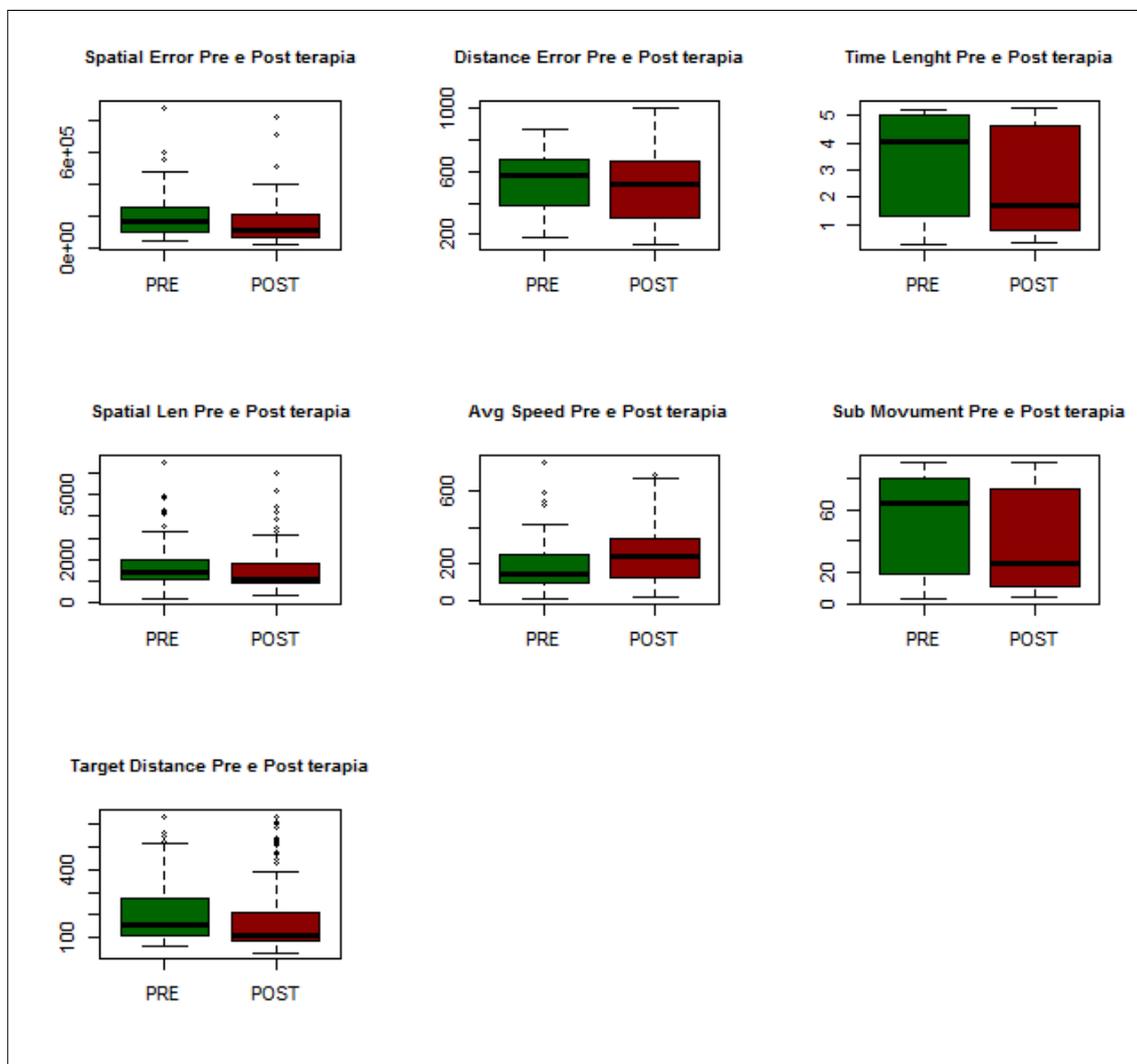


Figura 31. Esercizio Extrarotazione: Boxplots delle variabili.

## ~ caratterizzazione per trauma subito

La caratterizzazione dei dati per trauma rileva che i pazienti hanno subito 2 Carcinoma, 1 Mielite, 6 Trauma Cranici Emorragici, 39 Ictus Emorragico e 47 Ictus Ischemico.

I dati non seguono la distribuzione normale e le analisi evidenziano una diminuzione dei valori nel Post terapia (esclusa la variabile Avg Speed).

Considerando la differenza dei valori pre e post terapia delle variabili, per i gruppi trauma Ictus Emorragico e trauma Ischemico (Fig. 32), si nota che le mediane assumono valori più elevati nel gruppo di pazienti Ictus Ischemico per le variabili: Time Length, Spatial Len e Sub Movements; per le altre variabili, invece, i valori delle mediane sono più elevati nel gruppo di pazienti Ictus Emorragico. Il range dei valori è maggiore nel gruppo di pazienti con trauma Ictus Emorragico per tutte le variabili osservate.

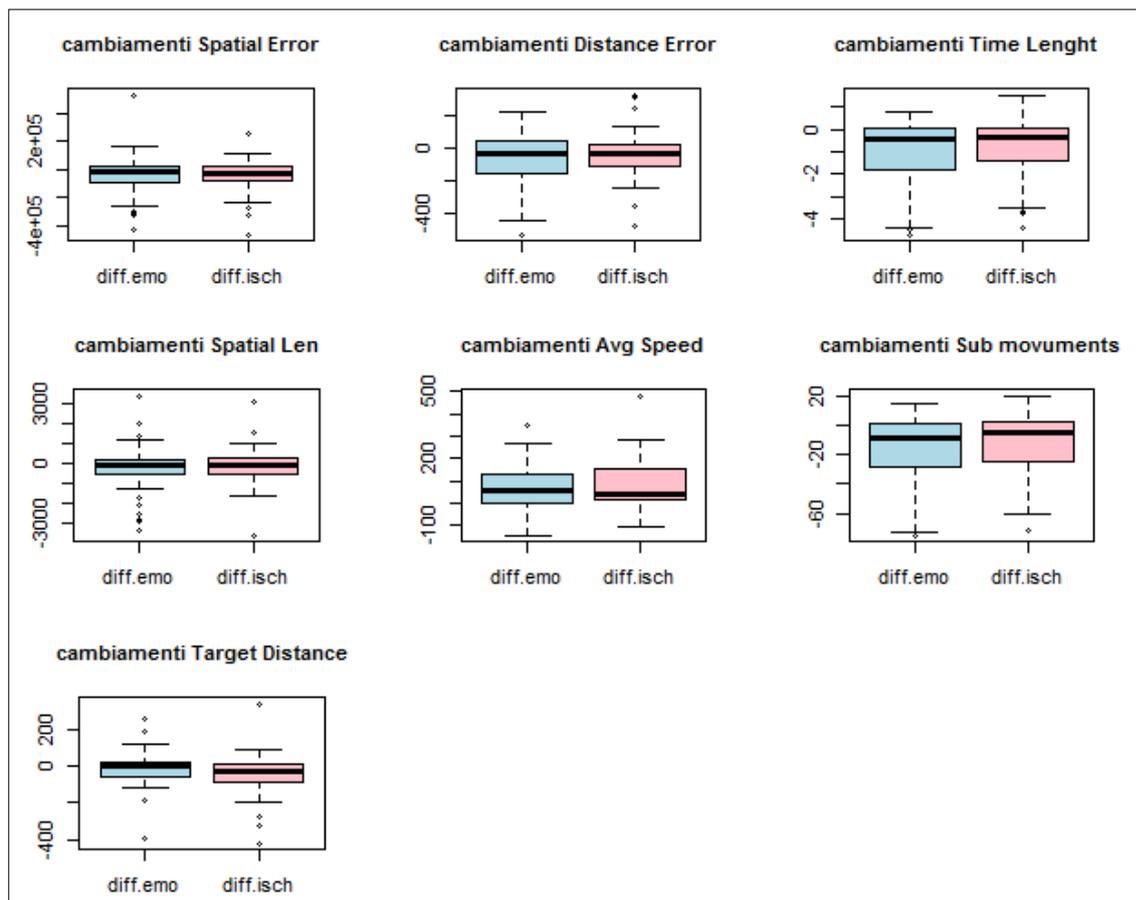


Figura 32. Esercizio Extrarotazione: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trauma.

## ~ caratterizzazione per genere

I pazienti che hanno svolto l'esercizio sono composti dal 59% di pazienti maschi e dal 41% di pazienti femmina (39 pazienti femmine e 56 maschi). Le variabili non seguono la distribuzione normale per entrambi i generi ed i valori diminuiscono, in seguito alla terapia, in entrambi i gruppi.

Il range delle differenze dei valori pre e post terapia (Fig.33) è maggiore nei pazienti del gruppo femmine, rispetto a quelli del gruppo maschi, per tutte le variabili, esclusa la variabile Avg Speed, per la quale il range dei valori è maggiore nei pazienti maschi.

La mediana delle differenze dei valori è minore nel gruppo di pazienti femmine ad eccezione delle variabili Distance Error e Avg Speed per le quali la mediana è minore nel gruppo di pazienti maschi.

L'età media dei pazienti è di 55.82 anni per i maschi (standard error 17.89 anni) e di 61.46 anni per le femmine (standard error 15.66 anni). La mediana è di 58 anni per i pazienti maschi e di 65 anni per i pazienti femmina.

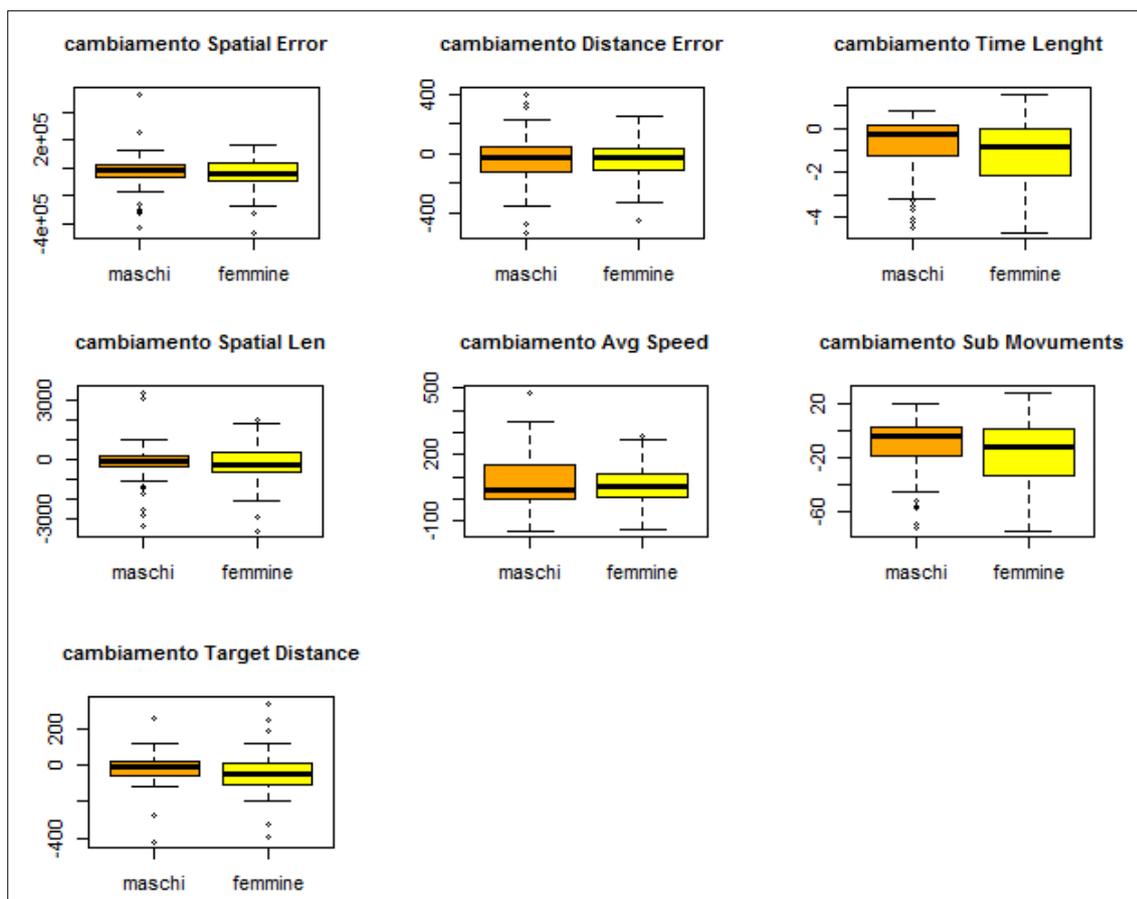


Figura 33. Esercizio Extrarotazione: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

La caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto dai 95 pazienti che hanno svolto questo esercizio, evidenzia che il 26% dei pazienti ha ricevuto un trattamento di tipo rc ed il 74% dei pazienti ha invece ricevuto un trattamento di tipo rv (25 pazienti rc e 70 pazienti rv).

Le analisi effettuate sulle differenze dei valori pre e post terapia (Fig.33) ci inducono ad affermare che i valori assunti dalla mediana sono maggiori nel gruppo rc per le variabili Distance Error, Time Length, Sub Movuments e Target Distance, mentre sono maggiori nel gruppo rv per le altre variabili.

Il range dei valori è maggiore nel gruppo di pazienti rv per tutte le variabili ed anche in questo caso si evidenzia la presenza di valori anomali.

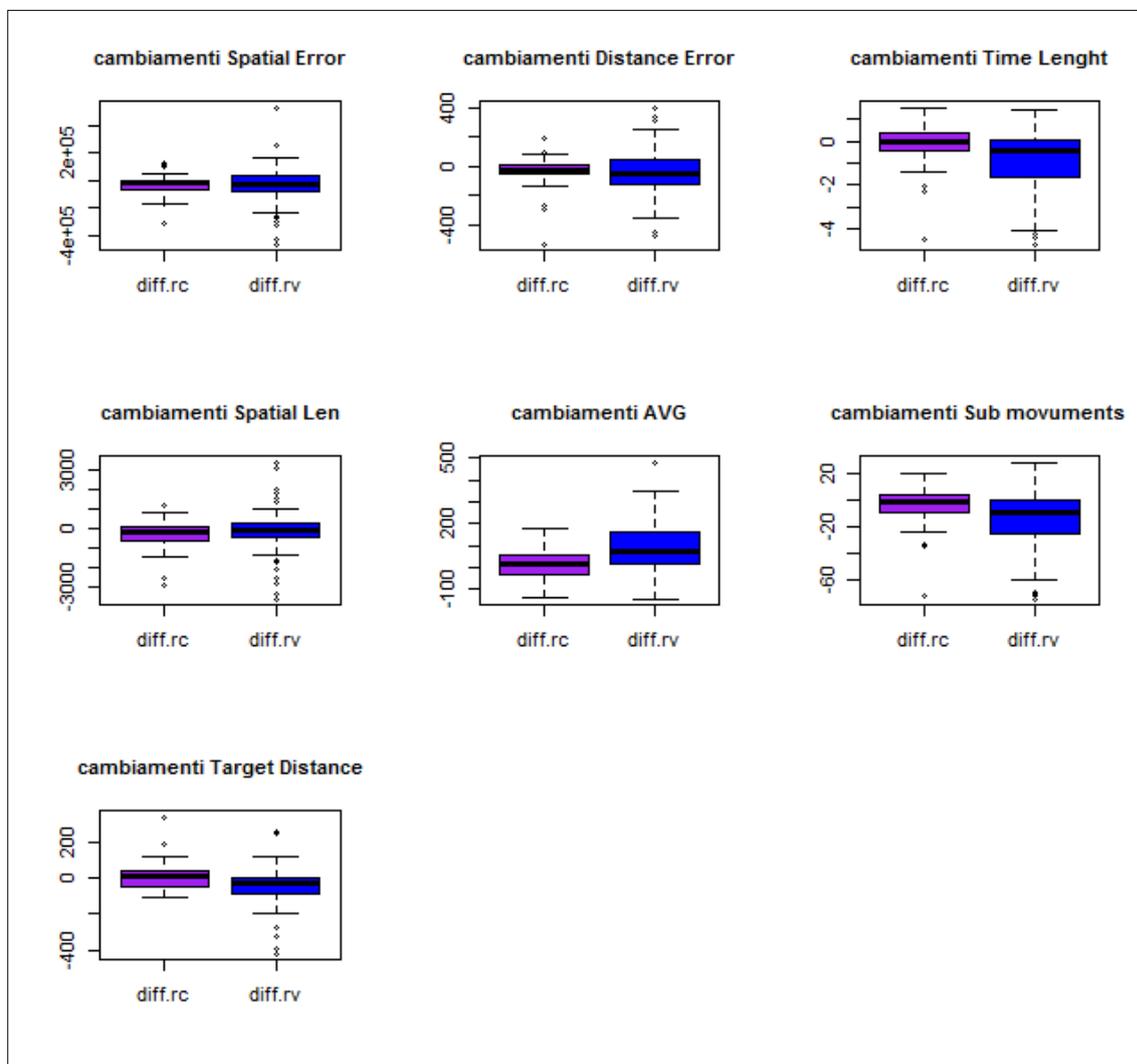


Figura 33. Esercizio Extrarotazione: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Pronosupinazione:**

I 94 pazienti che si sono sottoposti a questo esercizio avevano il compito di portare il palmo della mano, appoggiato prono alla coscia destra, fino alla coscia sinistra compiendo una rotazione per farlo diventare supino. L'età media dei pazienti che hanno svolto l'esercizio è di 58.4 anni, la deviazione standard di 17.36 anni e l'età mediana è invece di 61 anni.

I p-values dei test di Shapiro Wilk rifiutano l'ipotesi di normalità delle variabili, ad eccezione della variabile Distance Error.

La mediana subisce un abbassamento nel Post terapia, come evidenziano i boxplots (Fig.35), ad eccezione della variabile Avg Speed, per la quale il valore aumenta.

Per le variabili Spatial Error, Distance Error e Avg Speed c'è un aumento del range dei valori delle variabili nel post terapia.

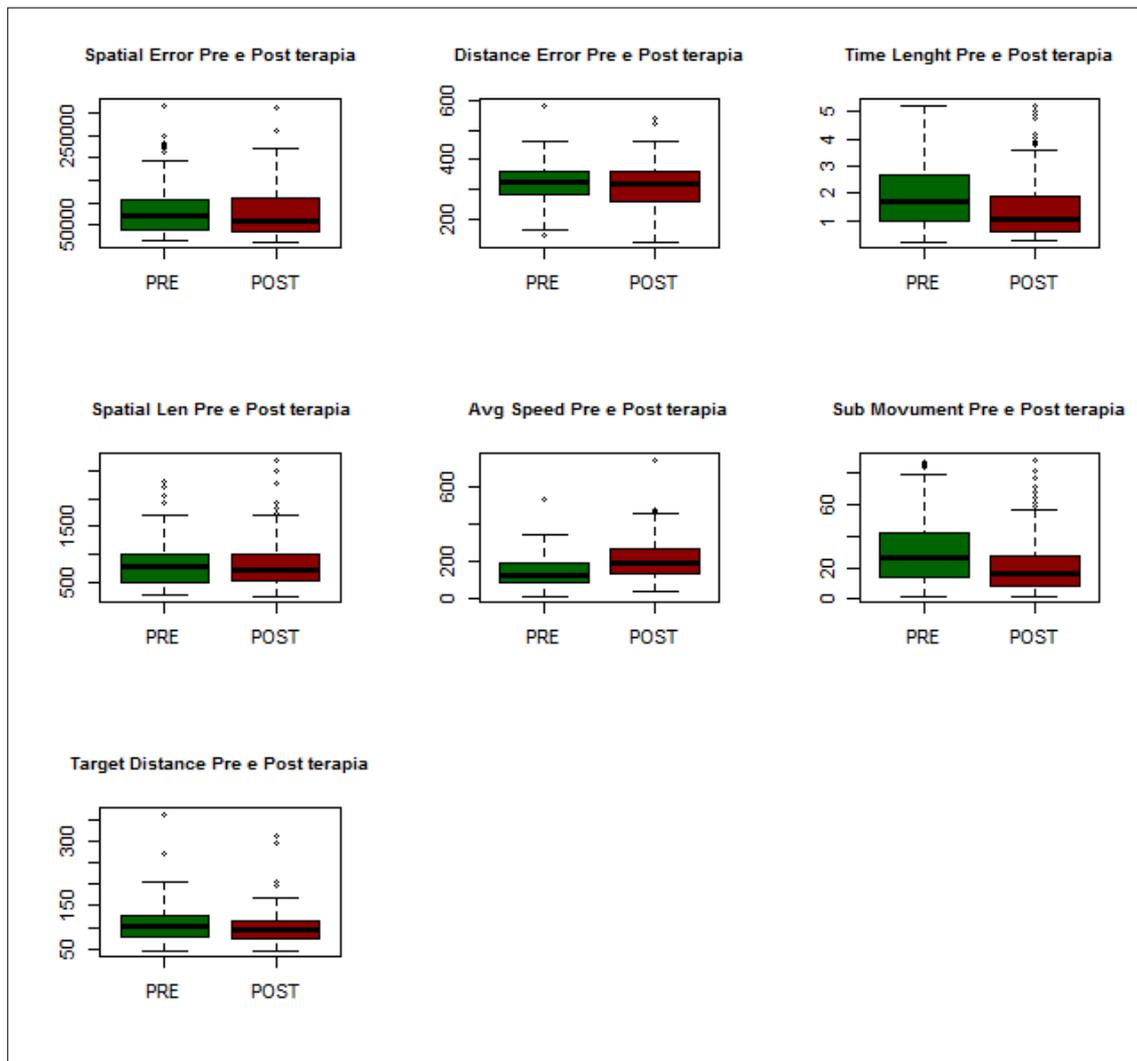


Figura 35. Esercizio Pronosupinazione: Boxplots delle variabili.

~ **caratterizzazione per trauma subito**

I traumi subiti dai pazienti sono suddivisi in 2 Carcinoma, 1 Mielite, 6 Trauma Cranico Emorragico, 40 Ictus Emorragico e 45 Ictus Ischemico. Le variabili non seguono la distribuzione normale ed i loro valori subiscono una diminuzione in seguito alla terapia. Nell'analizzare le differenze pre e post terapie nei gruppi di pazienti trauma Ictus Emorragico e trauma Ictus Ischemico (Fig.36), si nota che i valori delle mediane sono maggiori nel gruppo di pazienti Ictus Ischemico, esclusa la variabile Target Distance che presenta una mediana maggiore nel gruppo di pazienti Ictus Emorragico. Il range dei valori invece è maggiore nel gruppo di pazienti che hanno subito Ictus Ischemici per quasi tutte le variabili, esclusa la variabile Target Distance.

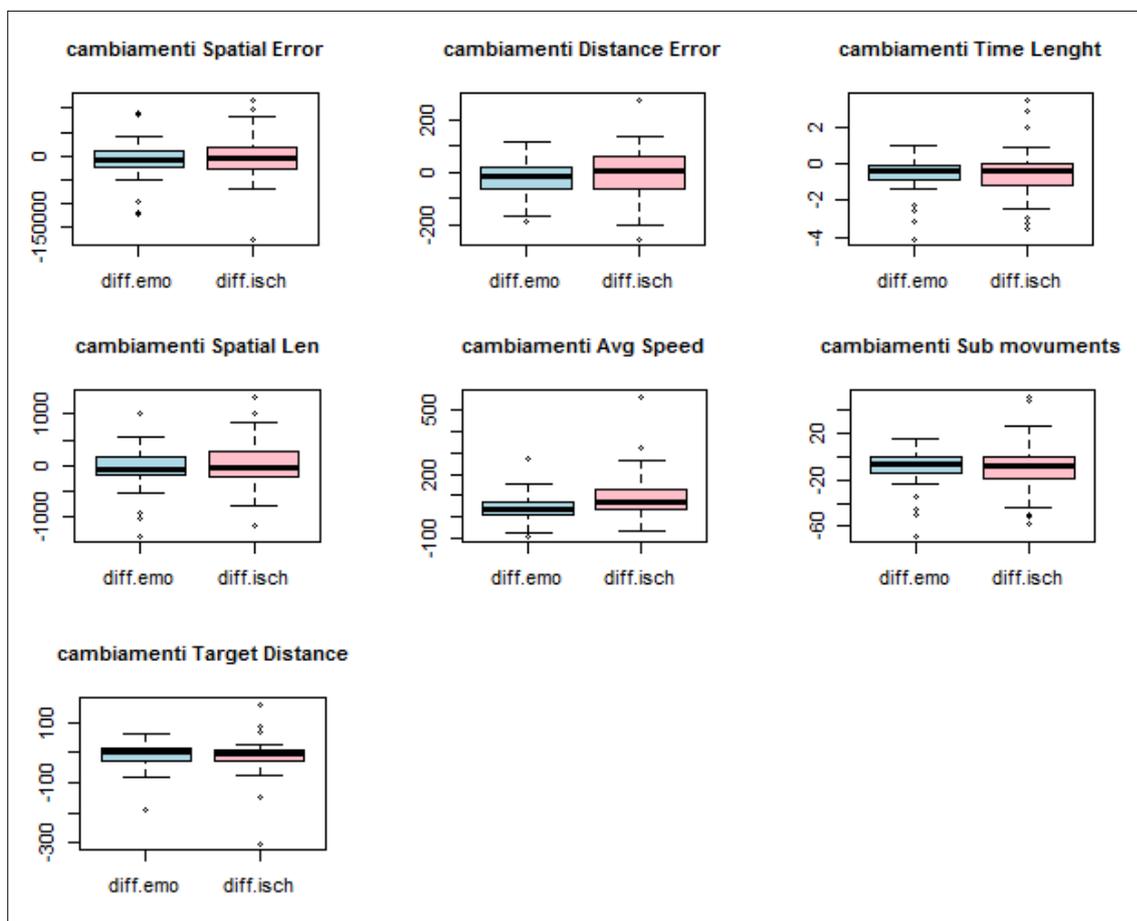


Figura 36. Esercizio Pronosupinazione: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trauma.

## ~ caratterizzazione per genere

La caratterizzazione per genere ci permette di suddividere i pazienti nel 59% di pazienti di genere maschile e nel 41% di pazienti di genere femminile (55 pazienti maschi e 39 pazienti femmine).

Le variabili, caratterizzate per genere, non seguono una distribuzione normale. Anche in questo esercizio le analisi permettono di affermare che ci sia una diminuzione dei valori in seguito alla terapia per entrambi i generi.

Le differenze Pre e Post terapia delle variabili (Fig.37) possiedono un range dei valori maggiore nei pazienti di genere femminile per quasi tutte le variabili, ad eccezione della variabile Spatial Len, per la quale il range delle differenze dei valori è maggiore nei pazienti maschi. I valori delle mediane delle differenze Pre e Post terapia sono minori nel gruppo di pazienti femmine ad eccezione della variabile Spatial Error, per la quale il valore della mediana è minore nel gruppo di pazienti maschi.

La mediana delle età dei pazienti è di 58 anni nei pazienti maschi e 66 anni nei pazienti femmine. La media varia da 62.08 anni per le femmine (standard error 15.83 anni) a 55.8 anni per i maschi (standard error 18.06 anni).

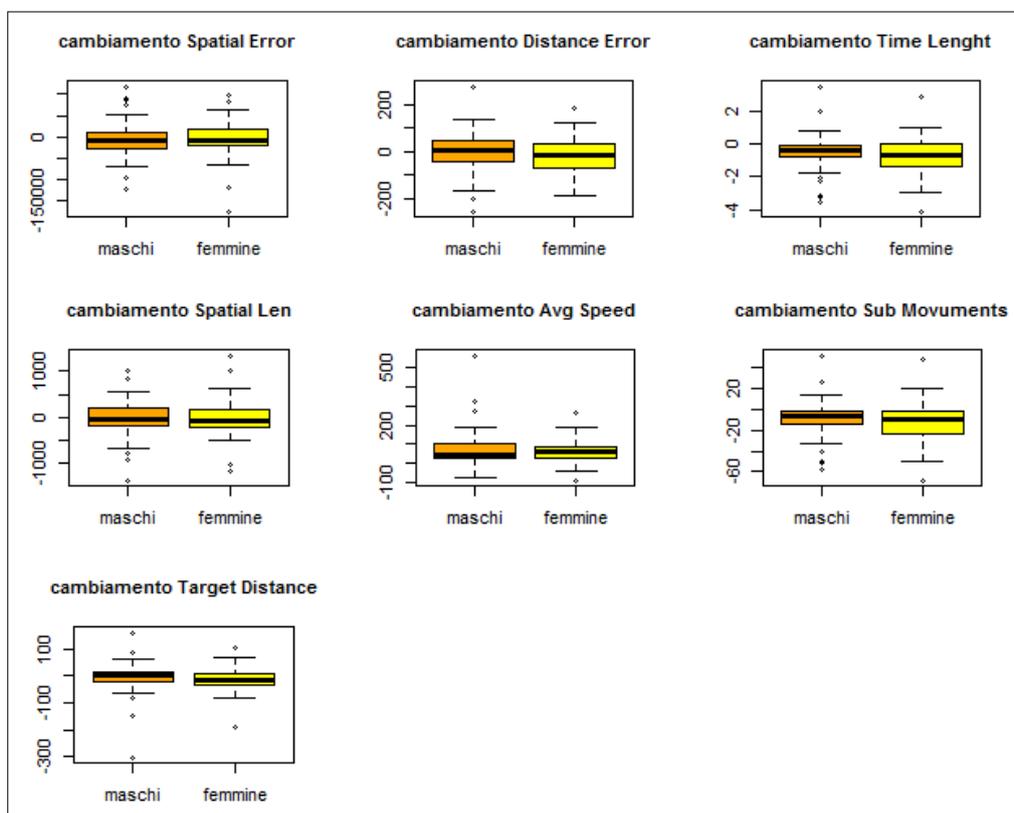


Figura 37. Esercizio Pronosupinazione: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

I pazienti, caratterizzati per terapia ricevuta, sono divisi nel 28% in pazienti che hanno ricevuto una terapia rc e nel 72% in pazienti che hanno ricevuto una terapia rv (26 pazienti rc e 68 pazienti rv).

Considerando la differenza dei valori pre e post terapia (Fig.38), si evidenzia che i valori assunti dalla mediana sono maggiori nel gruppo rc per tutte le variabili, ad eccezione delle variabili Distance Error e Avg Speed, per le quali i valori sono maggiori nel gruppo rc. Anche in questo caso sono presenti numerosi valori anomali.

I range dei valori assunti sono maggiori nel gruppo rc, eccetto i range delle variabili Distance Error, Avg Speed e Target Distance che sono maggiori per il gruppo rv.

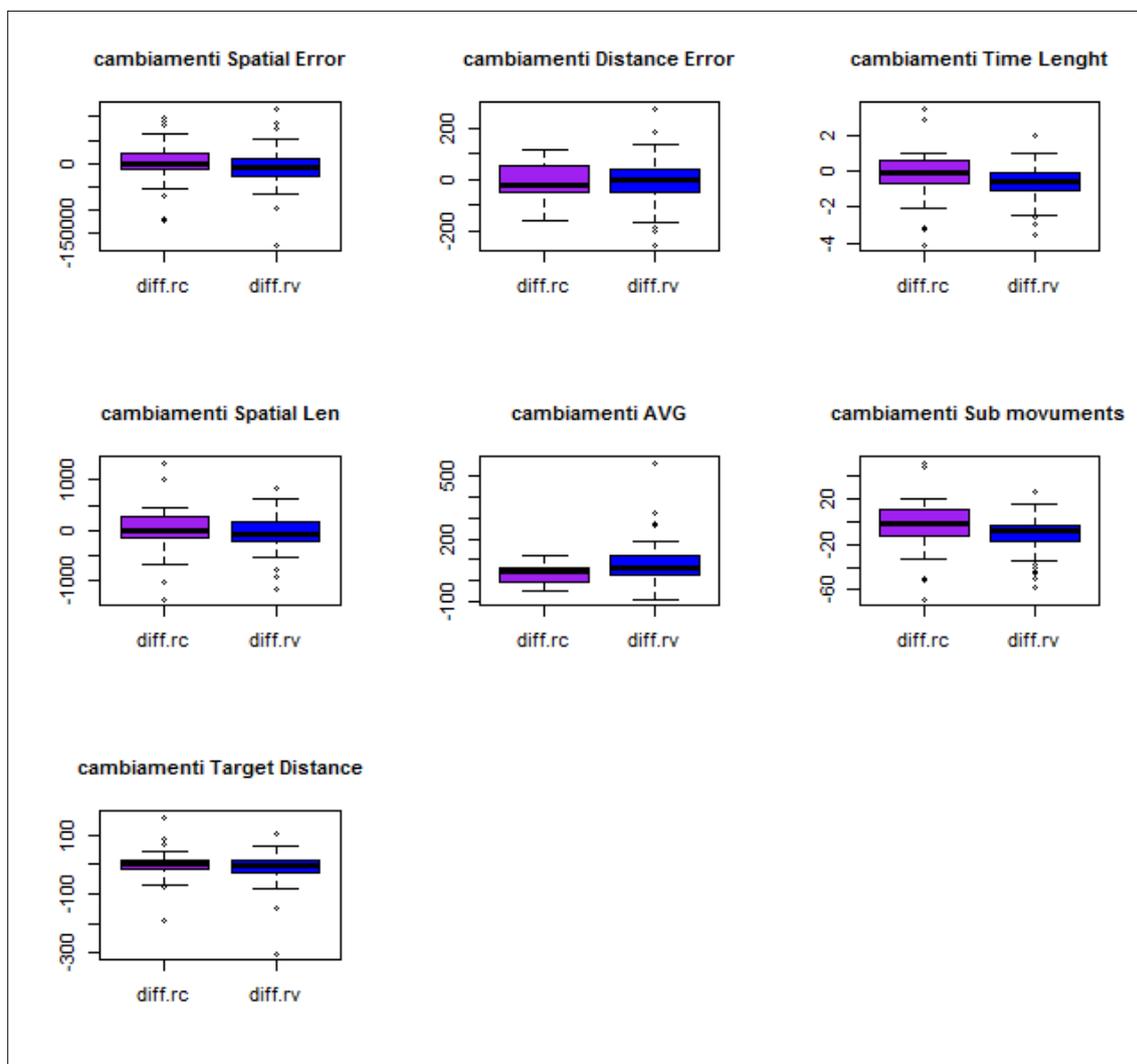


Figura 38. Esercizio Pronosupinazione: Boxplots delle differenze pre e post delle variabili, caratterizzazione per trattamento ricevuto.

### **2.3 Conclusioni dell'Analisi Esplorativa sui pazienti**

In questa prima parte del capitolo si evidenzia che, in tutti gli esercizi svolti dai pazienti, che hanno effettuato un ciclo di terapia riabilitativa post traumatiche, le variabili non seguono una distribuzione normale poiché tutti i p-values dei test di Shapiro-Wilk sono inferiori al livello di significatività fissato ( $\alpha = 0.05$ ) ed emerge un calo dei loro valori in seguito alla terapia, ad eccezione della variabile Avg Speed, i cui valori subiscono invece un incremento; tali risultati sono compatibili con la tesi secondo la quale vi è un miglioramento nelle prestazioni dei pazienti in seguito alla riabilitazione motoria.

Le variabili cinematiche, che misurano alcune difficoltà che i pazienti possiedono nell'effettuare i movimenti, sembrano ridurre i loro valori; mentre l'unica variabile che sembra aumentare i suoi valori alla fine della terapia, misura la media della velocità dei pazienti nello svolgere gli esercizi.

Non sembra esserci una differenza nel recupero riabilitativo legata al genere dei pazienti.

Per la maggior parte degli esercizi sembra avvalersi l'ipotesi di una differenza nel recupero legata al tipo di trattamento riabilitativo ricevuto a favore di un maggior recupero per i pazienti che sono stati sottoposti a riabilitazione virtuale e al tipo di trauma subito a favore dei pazienti che hanno subito un Ictus Ischemico.

Tali tesi verranno valutate attraverso opportune analisi inferenziali nel Paragrafo 2.3.1.

In tutti gli esercizi sono presenti numerosi valori anomali per molte delle variabili studiate; tali valori sono dovuti ad un'asimmetria distributiva.

Nel prossimo Paragrafo si cercherà di valutare se, sulla base di analisi inferenziali, le ipotesi di un'assenza di differenza legata al genere di appartenenza e al trauma subito possano essere confermate.

Verranno poi confrontate le due tipologie di terapia riabilitativa per verificare se sia possibile affermare che le due terapie portino a risultati diversi in termini di recupero motorio dei pazienti, come ipotizzato in seguito all'analisi esplorativa dei dati a disposizione.

## 2.4 ANALISI INFERENZIALE NON PARAMETRICA

Le ipotesi statistiche che si vogliono verificare con i dati a disposizione in questo paragrafo sono:

- Stabilire se ci sia stato un miglioramento nelle prestazioni dei pazienti, confrontando le stesse variabili prima e dopo la terapia, cioè confrontando i valori appaiati di ogni variabile.
- Stabilire se ci sia una differenza nel recupero dal trauma tra i pazienti maschi ed i pazienti femmine.
- Stabilire se ci sia una differenza nel recupero delle capacità motorie tra i pazienti che hanno subito traumi diversi.
- Stabilire quale delle due terapie riabilitative effettuate dai pazienti permetta di raggiungere risultati migliori in termini di recupero motorio post traumatico.

Le analisi preliminari effettuate sui dati hanno portato a rifiutare l'ipotesi di normalità per quasi tutte le variabili a disposizione; per questo le analisi inferenziali che vengono effettuate sono di tipo non parametrico. I test non parametrici utilizzati sono:

- **Test di Wilcoxon per ranghi con segno:** per il confronto tra i valori pre e post terapia di una stessa variabile (confronto tra due campioni appaiati).
- **Test di Mann-Whitney (o test di Wilcoxon della somma dei ranghi):** per il confronto tra le differenti variabili nelle diverse caratterizzazioni (confronto tra due campioni indipendenti).

Nei paragrafi che seguono verranno riportati i risultati generali ottenuti dai test effettuati sui dati a disposizione, tutti effettuati con un livello di significatività fissato pari a 0.05.

Nell'interpretare i risultati viene considerato come indice di miglioramento delle prestazioni dei pazienti la diminuzione dei valori delle variabili nel post terapia, rispetto ai valori del pre terapia; eccetto che per la variabile Avg Speed la quale, misurando la velocità media di un paziente nello svolgere l'esercizio, viene considerato come indice di miglioramento un suo aumento dei valori tra il pre ed il post terapia.

I test di Wilcoxon per ranghi con segno che vengono eseguiti sulle variabili sono quindi test unilaterali destri, invece per la variabile Avg Speed viene eseguito un test unilaterale sinistro. Lo studio della caratterizzazione delle variabili per genere, trauma e trattamento viene eseguito invece con un test bilaterale con un livello di significatività fissato pari a 0.05, approfondito nei casi di rifiuto di ipotesi di uguaglianza con i test unilaterali destro e sinistro.

## 2.4.1 ANALISI PER ESERCIZIO

### ➤ Esercizio Tight slide:

I valori delle variabili dei pazienti, analizzati tramite il test di Wilcoxon per campioni appaiati (Tab.1), ci permettono di affermare che le mediane delle variabili hanno subito una diminuzione significativa.

Non possiamo allora accettare l'ipotesi nulla di uguaglianza delle mediane nei due gruppi, affermando che vi sia un effettivo mutamento nei valori delle variabili ed in particolare che i valori subiscano una diminuzione, ad eccezione della variabile Avg Speed, per la quale i valori subiscono un incremento.

Possiamo affermare quindi che, i 98 pazienti, che hanno eseguito l'esercizio Tight Slide, hanno avuto dei miglioramenti significativi nei valori delle variabili cinematiche a seguito della terapia ricevuta, esclusa la variabile Spatial Len, i cui valori non hanno subito significativi cambiamenti.

Variabile	Valore p-value	Valore della statistica test
Spatial Error	0.0179	3018
Distance Error	0.0002	3406
Time Lenght	0.0000	4111
Spatial Len	<b>0.6021</b>	2353
Avg Speed	0.0000	419
Sub Movuments	0.0000	4043
Target Distance	0.0000	3910

Tabella 1. Esercizio Tight Slide: tabella dei p-values del test di Wilcoxon per le variabili.

### ~ **caratterizzazione per trauma**

I risultati dei test di Mann-Whitney per campioni indipendenti (Tab.2), portano ad affermare che siano presenti miglioramenti significativi nei valori delle variabili per tutti i gruppi di pazienti, indipendentemente dal tipo di trauma subito e che i cambiamenti delle variabili non siano significativamente differenti tra i due gruppi di pazienti.

<b>Variabile</b>	<b>Valore p-value</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.5147</b>	1064
<b>Distance Error</b>	<b>0.4194</b>	1083
<b>Time Lenght</b>	<b>0.7094</b>	938
<b>Spatial Len</b>	<b>0.7094</b>	938
<b>Avg Speed</b>	<b>0.3649</b>	1095
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.8887</b>	967
<b>Target Distance</b>	<b>0.7775</b>	1019

Tabella 2. Esercizio Tight Slide: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trauma.

~ **caratterizzazione per genere**

I valori dei p-values dei test di Mann-Whitney, effettuati sui pazienti (Tab.3), portano ad affermare che non è presente una differenza significativa tra i due gruppi di pazienti, in base al genere di appartenenza, in termini di recupero motorio post traumatico.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.7927</b>	1132
<b>Distance Error</b>	<b>0.6474</b>	1232
<b>Time Lenght</b>	<b>0.9455</b>	1159
<b>Spatial Len</b>	<b>0.2914</b>	1022
<b>Avg Speed</b>	<b>0.6269</b>	1236
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.9799</b>	1165
<b>Target Distance</b>	<b>0.8769</b>	1190

Tabella 3. Esercizio Tight Slide: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

I dati a disposizione, analizzati mediante il test di Mann-Whitney (Tab.4), portano ad affermare che non è presente una significativa differenza nel recupero motorio, tra le due tipologie di riabilitazione ricevuta, nei due gruppi di pazienti, ad eccezione della variabile Avg Speed per la quale i valori sono maggiori nel gruppo rv (con un p-value nel test unilaterale destro di 0.0035).

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.6235</b>	875
<b>Distance Error</b>	<b>0.8595</b>	914
<b>Time Lenght</b>	<b>0.0851</b>	722
<b>Spatial Len</b>	<b>0.4164</b>	835
<b>Avg Speed</b>	0.0069	1272
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.1303</b>	748
<b>Target Distance</b>	<b>0.0895</b>	725

Tabella 4. Esercizio Tight Slide: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Simple reaching:**

Le analisi inferenziali, effettuate sui pazienti che hanno svolto questo esercizio (Tab.5), evidenziano che non vi siano stati cambiamenti significativi in seguito alla terapia per le variabili Spatial Error, Distance Error e Spatial Len. Per le altre variabili, invece, è possibile accettare l'ipotesi di un cambiamento nei valori che portano ad un miglioramento significativo della performance dei pazienti.

I 96 pazienti che hanno svolto questo esercizio hanno subito, nel complesso, un miglioramento dei valori delle variabili cinetiche registrate, ad eccezione delle variabili Spatial Error, Distance Error e Spatial Len.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.6226</b>	2243
<b>Distance Error</b>	<b>0.1237</b>	2645
<b>Time Lenght</b>	0.0000	3572.5
<b>Spatial Len</b>	<b>0.9471</b>	1886
<b>Avg Speed</b>	0.0000	460
<b>Sub Movuments</b>	0.0000	3589
<b>Target Distance</b>	0.0000	3716

Tabella 5. Esercizio Simple Reaching: tabella dei p-values del test di Wilcoxon per le variabili.

~ **caratterizzazione per trauma**

La caratterizzazione delle analisi inferenziali per trauma subito dai pazienti (Tab.6) rileva che il recupero per i pazienti è avvenuto indipendentemente dal tipo di trauma subito e quindi possiamo affermare che non vi sia una significativa differenza nel recupero riabilitativo legata alla tipologia di trauma subito.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.8092</b>	911
<b>Distance Error</b>	<b>0.4131</b>	1037
<b>Time Lenght</b>	<b>0.6889</b>	987
<b>Spatial Len</b>	<b>0.6811</b>	891
<b>Avg Speed</b>	<b>0.6749</b>	990
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.7142</b>	983
<b>Target Distance</b>	<b>0.8755</b>	921

Tabella 6. Esercizio Simple Reaching: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trauma.

~ **caratterizzazione per genere**

Nella caratterizzazione dei dati dell'esercizio svolto dai pazienti, i risultati dei test effettuati (Tab.7) evidenziano che non è presente una significativa distinzione tra i risultati dei pazienti maschi e quelli delle pazienti femmine. Possiamo quindi affermare che il recupero in termini di miglioramento motorio avviene in tutti i pazienti, indistintamente dal genere di appartenenza.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.2494</b>	972
<b>Distance Error</b>	<b>0.8676</b>	1150
<b>Time Lenght</b>	<b>0.3393</b>	998.5
<b>Spatial Len</b>	<b>0.3565</b>	1003
<b>Avg Speed</b>	<b>0.1155</b>	1340
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.6946</b>	1074.5
<b>Target Distance</b>	<b>0.6223</b>	1194

Tabella 7. Esercizio Simple Reaching: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

Analizzando i dati mediante il test di Mann-Whitney (Tab.8) è possibile affermare che non è presente una significativa differenza nel recupero motorio in seguito alla terapia tra i due gruppi di pazienti in base al trattamento riabilitativo ricevuto, ad eccezione della variabile Target Distance, per la quale, i valori sono maggiori nel gruppo di pazienti rc (con un p-value nel test unilaterale sinistro pari a 0.0008).

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.7353</b>	869
<b>Distance Error</b>	<b>0.4990</b>	992
<b>Time Lenght</b>	<b>0.4191</b>	812
<b>Spatial Len</b>	<b>0.9016</b>	895
<b>Avg Speed</b>	<b>0.0910</b>	1115
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.5666</b>	840.5
<b>Target Distance</b>	0.0015	525

Tabella 8. Esercizio Simple-Reaching: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Elbow flexion:**

I risultati dei test di Mann-Whitney, eseguiti sui dati a disposizione (Tab.9), ci permettono di confermare una diminuzione significativa dei valori delle variabili in seguito alla terapia effettuata, eccetto che per la variabile Spatial Len che non risulta essere significativamente mutata in seguito alla terapia.

Possiamo affermare che i 94 pazienti che hanno svolto l'esercizio Elbow flexion hanno avuto un miglioramento dei valori delle variabili cinematiche registrate, esclusa la variabile Spatial Len.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	0.0166	2798
<b>Distance Error</b>	0.0375	2705
<b>Time Lenght</b>	0.0000	3638
<b>Spatial Len</b>	<b>0.1827</b>	2473
<b>Avg Speed</b>	0.0000	759

<b>Sub Movuments</b>	0.0000	3769.5
<b>Target Distance</b>	0.0000	3548

Tabella 9. Esercizio Elbow flexion: tabella dei p-values del test di Wilcoxon per le variabili.

~ **caratterizzazione per trauma**

Le analisi sulla caratterizzazione per i traumi subiti dai pazienti (Tab.10) non evidenzia la presenza di alcuna significativa differenza tra i valori delle due tipologie di trauma subiti.

Si accetta l'ipotesi di uguaglianza nel recupero dei due gruppi di pazienti.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.6272</b>	958
<b>Distance Error</b>	<b>0.4701</b>	819
<b>Time Lenght</b>	<b>0.7896</b>	871
<b>Spatial Len</b>	<b>0.6148</b>	960
<b>Avg Speed</b>	<b>0.4701</b>	819
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.7020</b>	858.5
<b>Target Distance</b>	<b>0.0856</b>	706

Tabella 10. Esercizio Elbow flexion: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trauma.

~ **caratterizzazione per genere**

I risultati dei test effettuati sui dati a disposizione (Tab.11) ci permette di confermare l'ipotesi di uguaglianza, in termini di miglioramento, tra pazienti maschi e pazienti femmine. Non sono dunque evidenti differenze significative dal punto di vista del recupero motorio tra i due gruppi di pazienti.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.8557</b>	1078
<b>Distance Error</b>	<b>0.4741</b>	1147
<b>Time Lenght</b>	<b>0.4231</b>	1158
<b>Spatial Len</b>	<b>0.6177</b>	990
<b>Avg Speed</b>	<b>0.3551</b>	935
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.3571</b>	1173.5
<b>Target Distance</b>	<b>0.0525</b>	1305

Tabella 11. Esercizio Elbow flexion: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

I valori dei livelli di significatività, osservati nei test di Mann-Whitney (Tab.12), permettono di affermare che non è presente una differenza significativa nel recupero riabilitativo tra i due gruppi di pazienti che hanno svolto le due differenti terapie riabilitative.

Variabile	Valore del P-values	Valore della statistica test
Spatial Error	<b>0.8140</b>	890
Distance Error	<b>0.9966</b>	862
Time Lenght	<b>0.2533</b>	729
Spatial Len	<b>0.2260</b>	1004
Avg Speed	<b>0.3106</b>	981
Sub Movuments	<b>0.9454</b>	854.5
Target Distance	<b>0.4696</b>	778

Tabella 12. Esercizio Elbow flexion: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Elevazione:**

Analizzando l'esercizio di Elevazione, effettuato da 94 pazienti (Tab.13), possiamo accettare l'ipotesi che i valori delle variabili hanno subito un cambiamento significativo in seguito alla terapia portando ad un miglioramento delle prestazioni dei pazienti, ad eccezione delle variabili Spatial Error, Distance Error, Spatial Len e Avg Speed per le quali non possiamo rifiutare l'ipotesi nulla di uguaglianza dei valori iniziali e finali.

Variabile	Valore del P-values	Valore della statistica test
Spatial Error	0.0000	3694
Distance Error	<b>0.1212</b>	2543
Time Lenght	0.0000	3304.5
Spatial Len	<b>0.3378</b>	2344
Avg Speed	0.0000	671
Sub Movuments	0.0000	3588
Target Distance	0.0000	3694

Tabella 13. Esercizio Elevazione: tabella dei p-values del test di Wilcoxon per le variabili.

~ **caratterizzazione per trauma**

Il test di Mann-Whitney non evidenzia significative differenze nei valori tra i diversi traumi dei pazienti (Tab.14). Possiamo confermare l'ipotesi di un miglioramento delle prestazioni uniforme tra le diverse tipologie di trauma subito.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.5140</b>	823
<b>Distance Error</b>	<b>0.7778</b>	865
<b>Time Lenght</b>	<b>0.9824</b>	894.5
<b>Spatial Len</b>	<b>0.7845</b>	928
<b>Avg Speed</b>	<b>0.3147</b>	1011
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.5487</b>	829
<b>Target Distance</b>	<b>0.6785</b>	850

Tabella 14. Esercizio Elevazione: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trauma.

~ **caratterizzazione per genere**

Le ipotesi di uguaglianza dei risultati in termini di miglioramento tra i due generi vengono confermate dai p-values dei test realizzati sui dati (Tab.15), per tutte le variabili. È possibile affermare che non è presente una significativa differenza nei risultati ottenuti tra pazienti maschi e pazienti femmina.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.8563</b>	1087.5
<b>Distance Error</b>	<b>0.3001</b>	1198.5
<b>Time Lenght</b>	<b>0.1432</b>	874
<b>Spatial Len</b>	<b>0.1788</b>	889.5
<b>Avg Speed</b>	<b>0.9049</b>	1079.5
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.1360</b>	870.5
<b>Target Distance</b>	<b>0.6859</b>	1011.5

Tabella 15. Esercizio Elevazione: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

Le analisi (Tab.16) permettono di affermare che il recupero motorio dei pazienti è avvenuto in modo uniforme tra le due tipologie di terapia riabilitativa. Solo le variabili Time Length e Avg Speed presentano delle differenze significative tra i due gruppi a favore di un maggior recupero per i pazienti del gruppo rv (con dei p-values rispettivamente di 0.0157 e 0.0009).

Variabile	Valore del P-values	Valore della statistica test
Spatial Error	<b>0.5569</b>	814.5
Distance Error	<b>0.3084</b>	1004.5
Time Length	0.0311	629
Spatial Len	<b>0.4962</b>	964.5
Avg Speed	0.0018	1253.5
Sub Movuments	<b>0.2521</b>	748.5
Target Distance	<b>0.0824</b>	678.5

Tabella 16. Esercizio Elevazione: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Abduzione destra con Gomito flesso:**

I valori osservati dei p-values dei test (Tab.17) permettono di accettare l'ipotesi di un miglioramento significativo delle performance dei 96 pazienti per quasi tutte le variabili, con l'eccezione delle variabili Spatial Error, Distance Error, Spatial Len e Avg Speed per le quali si rifiuta l'ipotesi di un cambiamento dei valori al termine della terapia. Per la variabile Avg Speed accettiamo l'ipotesi di un aumento significativo dei valori, con un p-value <0.0001, ottenuto nel test unilaterale sinistro.

Variabile	Valore del P-values	Valore della statistica test
Spatial Error	<b>0.1393</b>	2625
Distance Error	<b>0.0613</b>	2751
Time Length	0.0000	3422
Spatial Len	<b>0.2763</b>	2491
Avg Speed	0.0000	569
Sub Movuments	0.0000	3557
Target Distance	0.0000	3671

Tabella 17. Esercizio Abduzione: tabella dei p-values del test di Wilcoxon per le variabili.

~ **caratterizzazione per trauma**

I risultati delle analisi (Tab.18), effettuate tramite il test di Mann-Whitney, inducono a rifiutare l'ipotesi di una differenza significativa nel recupero riabilitativo dei pazienti, a seconda del trauma subito, a favore di un recupero egualmente positivo per tutti i pazienti, indipendentemente dalla lesione subita.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.4285</b>	1037
<b>Distance Error</b>	<b>0.2914</b>	1083
<b>Time Lenght</b>	<b>0.4963</b>	1023
<b>Spatial Len</b>	<b>0.3236</b>	1060
<b>Avg Speed</b>	<b>0.3947</b>	1044
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.6676</b>	993.5
<b>Target Distance</b>	<b>0.9091</b>	929

Tabella 18. Esercizio Abduzione: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trauma.

~ **caratterizzazione per genere**

La caratterizzazione delle analisi per genere (Tab.19) confermano le ipotesi di uguaglianza nel recupero fisico tra pazienti maschi e pazienti femmine. È possibile affermare che non vi sia una differenza significativa in termini di recupero riabilitativo tra i pazienti di genere femminile ed i pazienti di genere maschile.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.0883</b>	883
<b>Distance Error</b>	<b>0.5285</b>	1027
<b>Time Lenght</b>	<b>0.0704</b>	869
<b>Spatial Len</b>	<b>0.1253</b>	906
<b>Avg Speed</b>	<b>0.1531</b>	1303
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.0789</b>	876
<b>Target Distance</b>	<b>0.7740</b>	1150

Tabella 19. Esercizio Abduzione: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

I valori delle analisi effettuate portano ad accettare l'ipotesi di uguaglianza dei risultati delle due terapie riabilitative, a cui si sono sottoposti i pazienti, per alcune delle variabili oggetto di studio (Tab.20). La maggior parte delle variabili, invece, evidenzia una significativa differenza nel recupero post traumatico dei pazienti tra le due terapie svolte, presentano un recupero maggiore nei pazienti del gruppo rv. Tali variabili sono: la variabile Avg Speed (con un p-value di 0.0001), la variabile Time Length (con un p-value di 0.0012), la variabile Sub Movements (con un p-value di 0.0059) e la variabile Target Distance (con un p-value di 0.0129).

Variabile	Valore del P-values	Valore della statistica test
Spatial Error	<b>0.2518</b>	771
Distance Error	<b>0.0791</b>	697
Time Length	0.0024	542
Spatial Len	<b>0.5807</b>	843
Avg Speed	0.0003	1354
Sub Movements	0.0116	604
Target Distance	0.0255	639

Tabella 20. Esercizio Abduzione: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Anca sinistra- Ginocchio destro:**

Per i 94 pazienti, che hanno svolto questo esercizio, si riscontra un miglioramento significativo delle prestazioni in seguito alla terapia, confermato dai risultati delle analisi svolte (Tab.21). Tutte le variabili subiscono un calo dei loro valori, ad eccezione della variabile Avg Speed, i cui valori subiscono un aumento (con un p-value < 0.0001).

Variabile	Valore del P-values	Valore della statistica test
Spatial Error	0.0222	2766
Distance Error	0.0000	3232
Time Length	0.0000	3900
Spatial Len	0.0036	2945

<b>Avg Speed</b>	0.0000	420
<b>Sub Movuments</b>	0.0000	3924
<b>Target Distance</b>	0.0010	3050

Tabella 21. Esercizio Anca sx-Ginocchio dx: tabella dei p-values del test di Wilcoxon per le variabili.

~ **caratterizzazione per trauma**

I dati analizzati (Tab.22) evidenziano una differenza significativa, nel recupero riabilitativo dei pazienti per trauma subito, per le variabili Spatial Error e Spatial Len, a favore dell'ipotesi di un miglioramento maggiore nel gruppo di pazienti che hanno subito un Ictus Emorragico, con un p-value, rispettivamente, di 0.0037 e di 0.0039.

Per le altre variabili invece non si riscontra una differenza nel recupero dei pazienti in base al trauma subito.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	0.0074	1199
<b>Distance Error</b>	<b>0.0755</b>	1099
<b>Time Lenght</b>	<b>0.0763</b>	1098
<b>Spatial Len</b>	0.0078	1197
<b>Avg Speed</b>	<b>0.6262</b>	841
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.0871</b>	1091
<b>Target Distance</b>	<b>0.7488</b>	934

Tabella 22. Esercizio Anca sx-Ginocchio dx: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trauma.

~ **caratterizzazione per genere**

Nella caratterizzazione dei dati per genere di appartenenza dei pazienti non si rilevano delle differenze nel recupero motorio post traumatico (Tab.23). È possibile affermare che il miglioramento dei pazienti avvenga in modo omogeneo tra i due gruppi in cui sono stati divisi.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.3056</b>	1206
<b>Distance Error</b>	<b>0.9786</b>	1076

<b>Time Lenght</b>	<b>0.2545</b>	1221
<b>Spatial Len</b>	<b>0.0822</b>	1299
<b>Avg Speed</b>	<b>0.9114</b>	1087
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.3492</b>	1194.5
<b>Target Distance</b>	<b>0.3241</b>	1201

Tabella 23. Esercizio Anca sx-Ginocchio dx: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

Le analisi effettuate (Tab.24) portano ad accettare l'ipotesi di uguaglianza tra i due gruppi di pazienti che hanno ricevuto le due tipologie di terapia di riabilitazione, ad esclusione della variabile Avg Speed per la quale i valori subiscono un miglioramento maggiore nel gruppo di pazienti appartenenti alla terapia riabilitativa rv, con un p-value pari a 0.0245.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.8525</b>	834
<b>Distance Error</b>	<b>0.3353</b>	862
<b>Time Lenght</b>	<b>0.1790</b>	847
<b>Spatial Len</b>	<b>0.4989</b>	896
<b>Avg Speed</b>	0.0245	1196
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.2774</b>	876
<b>Target Distance</b>	<b>0.0959</b>	523

Tabella 24. Esercizio Anca sx-Ginocchio dx: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Extrarotazione:**

I 95 pazienti, che hanno svolto l'esercizio di Extrarotazione, hanno ottenuto un miglioramento delle prestazioni in seguito alla terapia di riabilitazione, come evidenziano i risultati delle analisi (Tab.25). I valori delle variabili sono infatti diminuiti, ad eccezione della variabile Avg Speed, per la quale i valori sono aumentati.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	0.0017	3068

<b>Distance Error</b>	0.0033	3012
<b>Time Lenght</b>	0.0000	3580
<b>Spatial Len</b>	0.0199	2834
<b>Avg Speed</b>	0.0000	825
<b>Sub Movuments</b>	0.0000	3590.5
<b>Target Distance</b>	0.0004	3179

Tabella 25. Esercizio Extrarotazione: tabella dei p-values del test di Wilcoxon per le variabili.

~ **caratterizzazione per trauma**

I dati a disposizione, analizzati per la tipologia di trauma subito dai pazienti (Tab.26), portano ad accettare l'ipotesi nulla di uguaglianza nel recupero motorio dei pazienti tra i due gruppi analizzati. Non c'è una differenza significativa nel recupero post traumatico tra i pazienti in base al trauma da essi subito.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.8427</b>	893
<b>Distance Error</b>	<b>0.7106</b>	960
<b>Time Lenght</b>	<b>0.8081</b>	944.5
<b>Spatial Len</b>	<b>0.6598</b>	968
<b>Avg Speed</b>	<b>0.7692</b>	951
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.7027</b>	960.5
<b>Target Distance</b>	<b>0.1409</b>	746

Tabella 26. Esercizio Extrarotazione: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trauma.

~ **caratterizzazione per genere**

I risultati del test di Mann-Whitney per campioni indipendenti (Tab.31), effettuati sui pazienti caratterizzati per genere, non hanno evidenziato delle differenze significative tra i due gruppi. Tali risultati portano ad affermare che i pazienti hanno avuto un eguale miglioramento delle prestazioni, indipendentemente dal genere di appartenenza.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.7335</b>	1137

<b>Distance Error</b>	<b>0.7795</b>	1129
<b>Time Lenght</b>	<b>0.2793</b>	1235
<b>Spatial Len</b>	<b>0.9397</b>	1082
<b>Avg Speed</b>	<b>0.9096</b>	1107
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.1583</b>	1278.5
<b>Target Distance</b>	<b>0.0887</b>	1317

Tabella 27. Esercizio Extrarotazione: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

I valori dei p-values, ottenuti nei test (Tab.28), consentono di affermare che per le variabili Time Lenght, Avg Speed, Sub Movuments e Target Distance è presente una differenza significativa nel recupero riabilitativo, a discapito del gruppo di pazienti appartenente alla terapia riabilitativa rc. I valori dei p-values dei test unilaterali confermano tale ipotesi e sono pari a 0.0128 per la variabile Time Lenght, 0.0015 per la variabile Avg Speed, 0.0110 per la variabile Sub Movuments e 0.0059 per la variabile Target Distance. Per le altre variabili, invece, il recupero riabilitativo è omogeneo tra i due gruppi di pazienti.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.9798</b>	872
<b>Distance Error</b>	<b>0.5770</b>	809
<b>Time Lenght</b>	0.0254	610.5
<b>Spatial Len</b>	<b>0.5655</b>	943
<b>Avg Speed</b>	0.0030	1226
<b>Sub Movuments</b>	0.0218	603.5
<b>Target Distance</b>	0.0118	577

Tabella 28. Esercizio Extrarotazione: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trattamento ricevuto.

➤ **Esercizio Pronosupinazione:**

I livelli di significatività, osservati nei test (Tab.29), mettono in evidenza che le variabili, che subiscono un miglioramento significativo in seguito alla terapia, sono le variabili Time Lenght e Sub Movuments. Per le altre variabili invece non sono presenti significativi cambiamenti in seguito al trattamento.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.0541</b>	2659
<b>Distance Error</b>	<b>0.2368</b>	2423
<b>Time Lenght</b>	0.0000	3659.5
<b>Spatial Len</b>	<b>0.2794</b>	2388
<b>Avg Speed</b>	0.0000	437
<b>Sub Movuments</b>	0.0000	3550
<b>Target Distance</b>	<b>0.0667</b>	2631

Tabella 29. Esercizio Pronosupinazione: tabella dei p-values del test di Wilcoxon per le variabili.

### ~ **caratterizzazione per trauma**

I pazienti, suddivisi per trauma subito, indicano che non vi siano differenze significative nel recupero riabilitativo (Tab.30). Tutti i pazienti presentano un miglioramento significativo in seguito alla riabilitazione, indipendentemente dal trauma. Solo la variabile Avg Speed mostra una differenza significativa nel recupero a favore dei pazienti appartenenti al gruppo di pazienti che hanno subito un trauma Ictus Ischemico, con un p-value di 0.0119.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.6519</b>	952
<b>Distance Error</b>	<b>0.2785</b>	1024
<b>Time Lenght</b>	<b>0.7426</b>	862
<b>Spatial Len</b>	<b>0.4327</b>	990
<b>Avg Speed</b>	0.0239	1156
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.7017</b>	856.5
<b>Target Distance</b>	<b>0.4859</b>	820

Tabella 30. Esercizio Pronosupinazione: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trauma.

### ~ **caratterizzazione per genere**

Le analisi inferenziali svolte sui dati (Tab.31), portano ad affermare che non ci sia una distinzione significativa in base al genere sul recupero dei pazienti, ma che essi abbiano tutti avuto un eguale recupero in seguito alla terapia, a prescindere dal genere di appartenenza.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.7385</b>	1029
<b>Distance Error</b>	<b>0.2152</b>	1234
<b>Time Lenght</b>	<b>0.2513</b>	1222
<b>Spatial Len</b>	<b>0.7912</b>	1107
<b>Avg Speed</b>	<b>0.7794</b>	1036
<b>Sub Movuments</b>	<b>0.2181</b>	1233
<b>Target Distance</b>	<b>0.1732</b>	1250

Tabella 31. Esercizio Pronosupinazione: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per genere.

~ **caratterizzazione per trattamento riabilitativo ricevuto**

I test effettuati sulle variabili (Tab.32) mettono in evidenza che i pazienti hanno avuto un recupero motorio uguale tra le due differenti tipologie di terapia riabilitativa effettuata, ad eccezione della variabile Time Lenght che, con un p-values di 0.008871, ha un recupero maggiore per i pazienti del gruppo rv.

<b>Variabile</b>	<b>Valore del P-values</b>	<b>Valore della statistica test</b>
<b>Spatial Error</b>	<b>0.1010</b>	690
<b>Distance Error</b>	<b>0.4368</b>	976
<b>Time Lenght</b>	0.0175	603
<b>Spatial Len</b>	<b>0.2300</b>	742
<b>Avg Speed</b>	<b>0.0773</b>	1093
<b>Sub Movuments</b>	0.0109	583
<b>Target Distance</b>	<b>0.3395</b>	771

Tabella 32. Esercizio Pronosupinazione: tabella dei p-values del test di Mann-Whitney per la caratterizzazione per trattamento ricevuto.

## 2.5 Conclusioni

Le analisi effettuate in questo capitolo permettono di accettare l'ipotesi di un cambiamento significativo dei valori di molte variabili, ossia una diminuzione dei loro valori dal Pre al Post terapia. La variabile Spatial Len non presenta cambiamenti significativi dal Pre al Post terapia negli esercizi: Tight Slide, Simple Reaching, Elbow Flexion, Abduzione, Elevazione e Pronosupinazione. Inoltre anche le variabili Spatial Error e Distance Error non subiscono cambiamenti, in seguito alla terapia, negli esercizi Simple Reaching, Abduzione, Pronosupinazione; come anche la variabile Distance Error nell'esercizio di Elevazione e la variabile Target Distance nell'esercizio di Pronosupinazione.

Per quanto riguarda la caratterizzazione per genere di appartenenza l'ipotesi di uguaglianza viene accettata per tutte le variabili in tutti gli esercizi effettuati dai pazienti nel corso del ciclo di terapie.

La caratterizzazione delle analisi per trauma subito dai pazienti riporta che, le uniche differenze significative nel recupero motorio, tra i due gruppi di pazienti, si evidenziano nell'esercizio Anca sinistra-Ginocchio destro per le variabili Spatial Error e Spatial Len, a favore di un maggior recupero nel gruppo di pazienti Ictus Emorragico e per la variabile Avg Speed nell'esercizio Pronosupinazione a favore dei pazienti del gruppo Ictus Ischemico.

Il recupero motorio differente dei pazienti, legato alla tipologia di riabilitazione ricevuta, viene evidenziato per la variabile Avg Speed negli esercizi: Tight Slide, Elevazione, Abduzione, Anca sinistra-Ginocchio destro ed Extrarotazione, a favore di un maggior recupero per i pazienti del gruppo rv. Per la variabile Target Distance si registra un miglioramento significativamente maggiore nell'esercizio Simple Reaching per i pazienti del gruppo di pazienti rc e negli esercizi Abduzione e Anca sinistra-Ginocchio destro per i pazienti del gruppo rv. La variabile Time Length presenta una differenza significativa negli esercizi Elevazione, Abduzione, Extrarotazione e Pronosupinazione, a favore di un recupero più elevato per i pazienti del gruppo rv. Per la variabile Sub Movements è presente una differenza significativa, a favore del gruppo di pazienti rv, negli esercizi Abduzione, Extrarotazione e Pronosupinazione.

## Capitolo 3

### *Modello lineare generalizzato*

In questo capitolo si indaga, per ciascun esercizio svolto dai pazienti, circa la presenza di possibili influenze sul risultato finale da parte delle diverse variabili qualitative. Tale ricerca viene effettuata, per ogni variabile di ogni esercizio, studiando un modello di regressione lineare generalizzato che si adatti al meglio ai dati a disposizione.

#### **3.1 I MODELLI LINEARI GENERALIZZATI**

I modelli di regressione hanno lo scopo di studiare la relazione che intercorre tra le variabili che caratterizzano un fenomeno. Nei modelli lineari generalizzati vengono attenuate alcune ipotesi fondamentali del modello lineare generale, ovvero la linearità della funzione che lega le variabili, la normalità e l'omoschedasticità delle osservazioni. Le analisi effettuate sul data set hanno permesso di escludere la natura normale dei dati, per questo il modello di regressione viene cercato tra il gruppo di modelli lineari generalizzati. La scelta del modello ottimale viene effettuata tramite procedura AIC che, a partire dal modello individuato, seleziona, con una procedura stepwise, le migliori variabili effettuando aggiunte o eliminazione attraverso il criterio di informazione di Akaike (AIC: *Akaike Information Criterion*). La procedura si arresta quando l'aggiunta o l'eliminazione di variabili non migliora l'AIC del modello.

Nel modello Gamma, assunto per i dati, la funzione di legame è data da:

$$\frac{1}{\mu_i} = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} \text{ con } Y_i \sim \text{Gamma}(\alpha, \lambda/\mu_i), \quad i = 1, 2, \dots, n$$

e l'AIC è calcolato come  $-2\hat{\ell} + 2(k+1)$ , dove  $\hat{\ell}$  è la stima della log-verosimiglianza del modello. Per la verifica di adattamento del modello selezionato con i dati a disposizione, vengono effettuati test sulle devianze residue e test sulla normalità dei residui.

Vengono di seguito riportati i modelli stimati, accompagnati dal valore della statistica test  $W_p$  sulle devianze residue, dai gradi di libertà della distribuzione approssimata  $\chi^2$  di  $W_p$ , dal parametro di dispersione e dal livello di significatività del test sulla bontà di adattamento del modello. Mediante il test di Shapiro Wilk vengono analizzati i residui dei modelli per verificare che essi posseggano una distribuzione normale. Viene inoltre utilizzato il diagramma di dispersione dei residui rispetto ai valori predetti nel caso i residui risultino approssimativamente non normali.

### 3.2 STUDIO DEI MODELLI LINEARI GENERALIZZATI PER ESERCIZIO

➤ **Esercizio Tight slide:**

I modelli di regressione stimati per le sette variabili (Tab.33) registrate nell'esercizio, evidenziano che, per tutte le variabili, i valori delle variabili dopo il trattamento sono influenzati dai valori delle corrispettive variabili prima del trattamento. Ad eccezione della variabile Spatial Len, i modelli evidenziano un legame con il tipo di trattamento ricevuto dai pazienti. Per le variabili Spatial Len e Avg Speed è presente una relazione significativa con la variabile Sesso; mentre per le variabili Spatial Error, Distance Error, Spatial Len e Sub Movuments si registra un legame anche con la variabile Età. Sono presenti interazioni tra variabili solo nel modello stimato per la variabile Sub Movuments; tali interazioni si rilevano tra le variabili Età e Trattamento, Età e Trauma e tra le variabili Trattamento e Trauma.

Test sulle devianze residue permettono, mediante i valori dei p-values, di affermare che i modelli stimati si adattano bene ai dati a disposizione. I residui di tutti i modelli stimati, inoltre, seguono approssimativamente una distribuzione normale.

Variabile	Funzione del modello	Statistica $W_p$	Gdl	Parametro Dispersione	Pr(>Chi)
<b>Spatial Error</b>	$10.240 + 0.000 * Spatial\_Error\_Pre + 0.008 * Et\grave{a} - 0.223 * TrattamentoRv$	54.457	3	0.387	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Distance Error</b>	$5.561 + 0.001 * Distance\_Error\_Pre - 0.003 * Et\grave{a} - 0.163 * TrattamentoRv$	11.904	3	0.104	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Time Lenght</b>	$1.280 + 0.079 * Time\_Lenght\_Pre - 0.445 * TrattamentoRv$	38.571	2	0.279	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Spatial Len</b>	$6.207 + 0.0005 * Spatial\_Len\_Pre - 0.175 * SessoM + 0.004 * Et\grave{a}$	9.017	3	0.177	$4.8 \times 10^{-11}$
<b>Avg Speed</b>	$2.885 + 0.015 * Avg\_Speed\_Pre + 0.181 * SessoM + 0.413 * TrattamentoRv$	12.017	3	0.255	$3.3 \times 10^{-10}$
<b>Sub Movuments</b>	$1.622 + 0.018 * Sub\_Movument\_Pre + 0.006 * Et\grave{a} + 1.371 * TrattamentoRv + 1.288 * TraumaEmorragico + 0.465 * Traumalschemico + 1.112 * TraumaMielite + 0.354 * TraumaTce - 0.028 * Et\grave{a}:TrattamentoRv - 0.008 * Et\grave{a}:TraumaEmorragico + 0.003 * Et\grave{a}:Traumalschemico - 0.027 * Et\grave{a}:TraumaTce - 2.403 * TrattamentoRv:TraumaEmorragico + 0.038 * Et\grave{a}:TrattamentoRv:TraumaEmorragico$	36.010	13	0.483	$1.6 \times 10^{-10}$
<b>Target Distance</b>	$4.853 + 0.002 * Target\_Distance\_Pre - 0.397 * TrattamentoRv$	17.863	2	0.184	$2.2 \times 10^{-16}$

Tabella 33. Esercizio Tight Slide: tabella dei modelli di regressione stimati con relativi valori del test sulle Devianze Residue, gradi di libert  della distribuzione  $\chi^2$ , Parametro di Dispersione e Livello di Significativit  Osservato del test.

➤ **Esercizio Simple Reaching:**

I modelli di regressione stimati (Tab.34) prevedono, per tutte le variabili, l'influenza della corrispondente variabile pre trattamento. Nella variabile Avg Speed si evidenzia, inoltre, un contributo della variabile Sesso. La variabile Target Distance è l'unica variabile che presenta, oltre ad un legame con la variabile Trattamento e con la variabili Trauma, interazioni tra le variabili Trattamento e Trauma. I p-values dei test sulla devianza residua permettono di affermare che i modelli si adattano bene ai dati. L'analisi effettuata sui residui dei modelli evidenzia una non normalità approssimativa per le variabili Distance Error, Time Length, Avg Speed, Sub Movements e Target Distance. Tali risultati, indagati mediante il diagramma di dispersione dei residui rispetto ai valori predetti, è legato alla presenza di valori anomali.

Variabile	Funzione del modello	Statistica $W_p$	Gdl	Parametro Dispersione	Pr(>Chi)
<b>Spatial Error</b>	$11.981 + 0.000 * Spatial\_Error\_Pre$	12.512	1	0.417	$4.3 \times 10^{-8}$
<b>Distance Error</b>	$6.235 + 0.001 * Distance\_Error\_Pre$	3.069	1	0.059	$4.7 \times 10^{-13}$
<b>Time Length</b>	$0.604 + 0.114 * Time\_Length\_Pre$	42.720	1	0.177	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Spatial Len</b>	$6.975 + 0.0003 * Spatial\_Len\_Pre$	13.335	1	0.330	$2.1 \times 10^{-10}$
<b>Avg Speed</b>	$3.150 + 0.018 * Avg\_Speed\_Pre + 0.219 * SessoM$	25.711	2	0.305	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Sub Movements</b>	$1.967 + 0.029 * Sub\_Movment\_Pre$	45.735	1	0.219	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Target Distance</b>	$5.079 + 0.003 * Target\_Distance\_Pre$ $- 0.398 * Trattamento - 0.339 * TraumaEmorragico$ $- 0.169 * Traumalschemico - 0.316 * TraumaMielite$ $- 0.047 * TraumaTce$ $+ 0.342 * TrattamentoRv:TraumaEmorragico$	39.132	7	0.118	$2.2 \times 10^{-16}$

Tabella 34. Esercizio Simple Reaching: tabella dei modelli di regressione stimati con relativi valori del test sulle Devianze Residue, gradi di libertà della distribuzione  $\chi^2$ , Parametro di Dispersione e Livello di Significatività Osservato del test.

➤ **Esercizio Elbow Flexion:**

I modelli di regressione, stimati per le variabili di questo esercizio (Tab.35), evidenziano, per tutte le variabili, la presenza di un legame con le corrispondenti variabili pre trattamento e con la variabile Età. Per la maggior parte delle variabili, ad esclusione della variabile Sub Movements, è presente una relazione tra la variabile post trattamento e le variabili Trauma e Trattamento.

Si evidenziano numerose interazione tra variabili in quasi tutti i modelli stimati: nelle variabili Spatial Error e Avg Speed tra le variabili Età e Trattamento, Trattamento e Trauma e tra Età e Trauma; nella variabile Distance Error tra le variabili Età e Trattamento e tra Trattamento e Trauma; nella variabile Time Length tra le variabili Età e Trattamento, Età e Trauma e tra Età, Trattamento e Trauma; nella variabile Spatial Len tra le variabili Trattamento e Trauma e nella variabile Target Distance tra le variabili Età e Trattamento, Età e Trauma, Trattamento e Trauma e tra le variabili Età, Trattamento e Trauma.

Le analisi dei residui ci permettono di affermare che i residui seguono una distribuzione approssimativamente normale, ad eccezione del modello legato alla variabile Spatial Len, a causa della presenza di valori anomali. I modelli si adattano bene ai dati, come confermano i p-values del test di adattamento del modello.

Variabile	Funzione del modello	Statistica $W_p$	Gdl	Parametro Dispersione	Pr(>Chi)
<b>Spatial Error</b>	$10.834 + 0.000 * Spatial\_Error\_Pre - 0.004 * Et\grave{a}$ $+ 0.332 * TrattamentoRv - 0.824 * TraumaEmorragico - 1.224 * Traumalschemico + 0.004 * TraumaMielite$ $- 0.832 * TraumaTce - 0.001 * Et\grave{a} : TrattamentoRv$ $+ 0.019 * Et\grave{a} : TraumaEmorragico$ $+ 0.020 * Et\grave{a} : Traumalschemico + 0.017 * Et\grave{a} : TraumaTce$ $- 0.307 * Trattamento : TraumaEmorragico$	45.158	12	0.299	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Distance Error</b>	$4.598 + 0.001 * Distance\_Error\_Pre + 0.011 * Et\grave{a}$ $+ 1.072 * TrattamentoRv + 0.510 * TraumaEmorragico$ $+ 0.148 * Traumalschemico + 0.287 * TraumaMielite$ $+ 0.036 * TraumaTce - 0.013 * Et\grave{a} : TrattamentoRv$ $- 0.523 * TrattamentoRv : TraumaEmorragico$	5.689	9	0.083	$2.9 \times 10^{-11}$
<b>Time Length</b>	$1.200 + 0.143 * Time\_Length\_Pre - 0.009 * Et\grave{a}$ $- 1.480 * TrattamentoRv - 3.330 * TraumaEmorragico$ $+ 0.303 * Traumalschemico + 0.373 * TraumaMielite$ $+ 0.100 * TraumaTce + 0.017 * Et\grave{a} : TrattamentoRv$ $+ 0.049 * Et\grave{a} : TraumaEmorragico$ $- 0.039 * Et\grave{a} : TrattamentoRv : TraumaEmorragico$	73.451	13	0.338	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Spatial Len</b>	$5.614 + 0.001 * Spatial\_Len\_Pre + 0.006 * Et\grave{a}$ $+ 0.262 * TrattamentoRv + 0.420 * TraumaEmorragico$ $+ 0.152 * Traumalschemico - 0.042 * TraumaMielite$ $- 0.0418 * TraumaTce$ $- 0.347 * TrattamentoRv : TraumaEmorragico$	8.878	8	0.203	$6.3 \times 10^{-7}$
<b>Avg Speed</b>	$4.969 + 0.006 * Avg\_Speed\_Pre - 0.024 * Et\grave{a}$ $+ 2.033 * TrattamentoRv + 0.864 * TraumaEmorragico$ $- 2.593 * Traumalschemico - 0.913 * TraumaMielite$ $- 3.771 * TraumaTce - 0.023 * Et\grave{a} : TrattamentoRv$ $- 0.002 * Et\grave{a} : TraumaEmorragico$ $+ 0.048 * Et\grave{a} : Traumalschemico + 0.085 * Et\grave{a} : Trauma$ $Tce - 2.914 * TrattamentoRv : TraumaEmorragico$ $+ 0.039 * Et\grave{a} : TrattamentoRv : TraumaEmorragico$	45.612	13	0.365	$2.2 \times 10^{-16}$

<b>Sub Movements</b>	1.651 + 0.024*Sub_Movuments_Pre + 0.008*Età	41.257	2	0.321	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Target Distance</b>	7.724+0.002*Target_Distance_Pre - 0.049*Età - 1.425*TrattamentoRv - 3.437*TraumaEmorragico - 2.291*Traumalschemico + 0.076*TraumaMielite - 1.669*TraumaTce + 0.017*Età:TrattamentoRv + 0.058*Età:TraumaEmorragico + 0.038*Età:Traumalschemico + 0.035*Età:TraumaTce + 1.506*TrattamentoRv:TraumaEmorragico - 0.023*Età:TrattamentoRv:TraumaEmorragico	14.648	13	0.104	$2.2 \times 10^{-16}$

Tabella 35. Esercizio Elbow Flexion: tabella dei modelli di regressione stimati con relativi valori del test sulle Devianze Residue, gradi di libertà della distribuzione  $\chi^2$ , Parametro di Dispersione e Livello di Significatività Osservato del test.

### ➤ **Esercizio Elevazione:**

In questo esercizio, tutte le variabili risposta hanno un legame con la corrispondente variabile pre trattamento. Tutte le variabili, ad eccezione di Spatial Error e Spatial Len, evidenziano un legame con la variabile Trattamento. La variabile Distance Error subisce l'influenza anche della variabile Età, mentre le variabili Time Lenght, Avg Speed e Sub Movuments subiscono l'influenza della variabile Trauma.

Le interazioni tra le variabili predittrici sono presenti nei modelli stimati: per la variabile Distance Error tra Età e Trattamento e per le variabili Time Lenght, Avg Speed e Sub Movuments tra Trattamento e Trauma.

Per le variabili Distance Error, Time Lenght, Spatial Len e Sub Movuments i residui non seguono approssimativamente una distribuzione normale, a causa della presenza di valori anomali.

I p-values dei test di adattamento dei modelli evidenziano infatti che tutti i modelli stimati si adatto ai dati.

<b>Variabile</b>	<b>Funzione del modello</b>	<b>Statistica <math>W_p</math></b>	<b>Gdl</b>	<b>Parametro Dispersione</b>	<b>Pr(&gt;Chi)</b>
<b>Spatial Error</b>	11.312 + 0.000*Spatial_Error_Pre	20.943	1	0.731	$8.6 \times 10^{-8}$
<b>Distance Error</b>	5.721 + 0.001*Distance_Error_Pre + 0.003*Età +0.452*TrattamentoRv-0.008*Età:TrattamentoRv	3.613	4	0.052	$3.1 \times 10^{-14}$
<b>Time Lenght</b>	1.269 + 0.109*Time_Lenght_Pre- 0.448*TrattamentoRv -0.593*TraumaEmorragico - 0.483*Traumalschemico +0.363*TraumaMielite -0.415*TraumaTce +0.397*TrattamentoRv:TraumaEmorragico	65.263	7	0.280	$2.2 \times 10^{-16}$

<b>Spatial Len</b>	$7.021 + 0.0002 * Spatial\_Len\_Pre$	6.888	1	0.589	$6.3 \times 10^{-4}$
<b>Avg Speed</b>	$2.195 + 0.013 * Avg\_Speed\_Pre + 0.184 * SessoM + 0.776 * TrattamentoRv + 0.930 * TraumaEmorragico + 0.7372 * Traumalschemico + 0.263 * TraumaMielite + 0.424 * TraumaTce - 0.449 * Trattamento:TraumaEmorragico$	31.978	8	0.317	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Sub Movements</b>	$2.496 + 0.029 * Sub\_Movument\_Pre - 0.422 * TrattamentoRv - 0.596 * TraumaEmorragico - 0.527 * Traumalschemico + 0.388 * TraumaMielite - 0.434 * TraumaTce + 0.416 * TrattamentoRv:TraumaEmorragico$	73.475	7	0.325	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Target Distance</b>	$4.980 + 0.002 * Target\_Distance\_Pre - 0.156 * SessoM - 0.331 * TrattamentoRv$	30.664	3	0.155	$2.2 \times 10^{-16}$

Tabella 36. Esercizio Elevazione: tabella dei modelli di regressione stimati con relativi valori del test sulle Devianze Residue, gradi di libertà della distribuzione  $\chi^2$ , Parametro di Dispersione e Livello di Significatività Osservato del test.

➤ **Esercizio Abduzione destra con Gomito flesso:**

Le variabili risposta dei modelli stimati (Tab.37) sono in relazione con le corrispettive variabili pre trattamento e con la variabili Trattamento. Le variabili, inoltre, eccetto la variabile Target Distance, evidenziano un legame anche con la variabile Sesso. I modelli legati alle variabili Spatial Error, Distance Error e Spatial Len hanno un legame con la variabile Età.

Le interazioni tra variabili si registrano nei modelli legati alle variabili Spatial Error, Distance Error e Spatial Len tra le variabili Età e Trattamento. I modelli stimati si adattano bene ai dati, nonostante i residui non seguano approssimativamente una distribuzione normale per le variabili: Distance Error, Time Lenght, Avg Speed, Sub Movements e Target Distance a causa di valori anomali.

Variabile	Funzione del modello	Statistica $W_p$	Gdl	Parametro Dispersione	Pr(>Chi)
<b>Spatial Error</b>	$11.423 + 0.000 * Spatial\_Error\_Pre - 0.204 * SessoM + 0.012 * Et\grave{a} + 0.746 * TrattamentoRv - 0.013 * Et\grave{a}:TrattamentoRv$	9.257	5	0.236	$2.1 \times 10^{-7}$
<b>Distance Error</b>	$5.744 + 0.001 * Distance\_Error\_Pre - 0.089 * SessoM + 0.006 * Et\grave{a} + 0.463 * TrattamentoRv - 0.009 * Et\grave{a}:TrattamentoRv$	3.812	5	0.068	$7.2 \times 10^{-11}$
<b>Time Lenght</b>	$- 0.213 + 0.400 * Time\_Lenght\_Pre - 0.148 * SessoM - 0.389 * TrattamentoRv$	41.644	3	0.186	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Spatial Len</b>	$6.282 + 0.0003 * Spatial\_Len\_Pre - 0.185 * SessoM + 0.012 * Et\grave{a} + 0.741 * TrattamentoRv - 0.012 * Et\grave{a}:TrattamentoRv$	13.025	5	0.224	$3.1 \times 10^{-11}$

<b>Avg Speed</b>	$4.412 + 0.003 * Avg\_Speed\_Pre + 0.251 * SessoM + 0.394 * TrattamentoRv$	21.746	3	0.322	$1.4 \times 10^{-14}$
<b>Sub Movements</b>	$2.501 + 0.026 * Sub\_Movument\_Pre - 0.184 * SessoM - 0.36453 * TrattamentoRv$	45.468	3	0.207	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Target Distance</b>	$4.572 + 0.003 * Target\_Distance\_Pre - 0.439 * TrattamentoRv$	45.547	2	0.2326	$2.2 \times 10^{-16}$

**Tabella 37. Esercizio Abduzione: tabella dei modelli di regressione stimati con relativi valori del test sulle Devianze Residue, gradi di libertà della distribuzione  $\chi^2$ , Parametro di Dispersione e Livello di Significatività Osservato del test.**

➤ **Esercizio Anca sinistra - Ginocchio destro:**

I modelli stimati per le variabili di questo esercizio (Tab.38) presentano tutti un legame con la corrispettiva variabile pre trattamento. La variabile Età influenza la variabile di risposta in tutti modelli, ad eccezione dei modelli legati alle variabili Spatial Len. I modelli stimati per le variabili Spatial Error, Distance Error, Spatial Len, Avg Speed e Target Distance evidenziano un legame con la variabile Trauma; mentre i modelli stimati per le variabili Distance Error, Time Lenght, Avg Speed, Sub Movements e Target Distance presentano un legame con la variabile Trattamento. Le variabili interagiscono tra loro nei modelli legati alle variabili: Distance Error con le variabili Età e Trattamento, Età e Trauma, Trauma e Trattamento e con le variabili Età, Trauma e Trattamento; Time Lenght con le variabili Età e Trattamento; Avg Speed con le variabili Età e Trauma, Età e Trattamento, Trattamento e Trauma e con le variabili Età, Trauma e Trattamento e Sub Movements con le variabili Età e Trattamento.

I residui non seguono una distribuzione approssimativamente normale per i modelli stimati per le variabili Target Distance, Spatial Len e Sub Movements, anche se, come per i modelli legati alle altre variabili, i p-values, legati al test di bontà di adattamento, ci permettono di affermare che i modelli rappresentino bene i dati osservati.

<b>Variabile</b>	<b>Funzione del modello</b>	<b>Statistica <math>W_p</math></b>	<b>Gdl</b>	<b>Parametro Dispersione</b>	<b>Pr(&gt;Chi)</b>
<b>Spatial Error</b>	$10.604 + 0.000 * Spatial\_Error\_Pre - 0.004 * Et\grave{a} + 0.022 * TraumaEmorragico + 0.549 * Traumalschemico - 0.009 * TraumaMielite + 0.085 * TraumaTce$	11.236	6	0.346	$1.3 \times 10^{-5}$
<b>Distance Error</b>	$5.154 + 0.001 * Distance\_Error\_Pre + 0.009 * Et\grave{a} - 0.125 * TrattamentoRv - 0.654 * TraumaEmorragico + 0.672 * Traumalschemico - 0.223 * TraumaMielite + 0.051 * TraumaTce - 0.001 * Et\grave{a} : TrattamentoRv + 0.005 * Et\grave{a} : TraumaEmorragico - 0.014 * Et\grave{a} : Traumalschemico - 0.002 * Et\grave{a} : TraumaTce + 1.165 * TrattamentoRv : TraumaEmorragico - 0.018 * Et\grave{a} : TrattamentoRv : TraumaEmorragico$	2.798	13	0.096	$6.4 \times 10^{-3}$

<b>Time Lenght</b>	$-1.153 + 0.325*Time\_Lenght\_Pre + 0.014*Et\grave{a} + 0.545*TrattamentoRv - 0.016*Et\grave{a}:TrattamentoRv$	31.154	4	0.298	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Spatial Len</b>	$6.163 + 0.0004*Spatial\_Len\_Pre - 0.014*TraumaEmorragico + 0.276*Traumalschemico - 0.034*TraumaMielite - 0.121*TraumaTce$	5.131	5	0.155	$3.4 \times 10^{-6}$
<b>Avg Speed</b>	$4.685 + 0.003*Avg\_Speed\_Pre - 0.014*Et\grave{a} + 1.380*TrattamentoRv + 1.112*TraumaEmorragico - 0.603*Traumalschemico + 0.104*TraumaMielite - 1.274*TraumaTce - 0.013*Et\grave{a}:TrattamentoRv - 0.005*Et\grave{a}:TraumaEmorragico + 0.020*Et\grave{a}:Traumalschemico + 0.023*Et\grave{a}:TraumaTce - 2.154*TrattamentoRv:TraumaEmorragico + 0.032*Et\grave{a}:TrattamentoRv:TraumaEmorragico$	15.536	13	0.185	$2.0 \times 10^{-12}$
<b>Sub Movuments</b>	$1.592 + 0.019*Sub\_Movument\_Pre + 0.015*Et\grave{a} + 0.503*TrattamentoRv - 0.016*Et\grave{a}:TrattamentoRv$	32.586	4	0.358	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Target Distance</b>	$4.536 + 0.002*Target\_Distance\_Pre + 0.005*Et\grave{a} - 0.316*TrattamentoRv - 0.368*TraumaEmorragico - 0.343*Traumalschemico - 0.043*TraumaMielite + 0.094*TraumaTce$	5.225	7	0.127	$7.7 \times 10^{-7}$

Tabella 38. Esercizio Anca sx-Ginocchio dx: tabella dei modelli di regressione stimati con relativi valori del test sulle Devianze Residue, gradi di libert  della distribuzione  $\chi^2$ , Parametro di Dispersione e Livello di Significativit  Osservato del test.

➤ **Esercizio Extrarotazione:**

Per questo esercizio i modelli stimati (Tab.39) evidenziano un legame con le variabili pre terapia. Nei i modelli stimati per le variabili Spatial Error, Distance Error, Spatial Len il legame si estende anche alla variabile Et . I modelli legati alle variabili Distance Error, Time Lenght, Avg Speed, Sub Movuments e Target Distance evidenziano una relazione tra la variabile Trattamento e la variabile risposta. La variabile Trauma invece influenza i modelli delle variabili Avg Speed e Target Distance. Le interazioni tra variabili sono presenti nei modelli legati alle variabili Distance Error e Target Distance con Et  e Trattamento e alla variabile Avg Speed con Trattamento e Trauma.

Nei modelli stimati per le variabili Spatial Error, Distance Error e Spatial Len, i residui sono approssimativamente non normali a causa della presenza di valori anomali. Nonostante ci  tutti i modelli stimati si adattano bene i dati a disposizione, come confermano i p-values.

Variabile	Funzione del modello	Statistica $W_p$	Gdl	Parametro Dispersione	Pr(>Chi)
<b>Spatial Error</b>	$10.940 + 0.000 * Spatial\_Error\_Pre + 0.008 * Et\grave{a}$	13.848	2	0.493	$7.9 \times 10^{-7}$
<b>Distance Error</b>	$4.857 + 0.002 * Distance\_Error\_Pre + 0.008 * Et\grave{a} + 0.639 * TrattamentoRv - 0.011 * Et\grave{a} : TrattamentoRv$	6.335	4	0.114	$2.5 \times 10^{-11}$
<b>Time Lenght</b>	$-0.331 + 0.372 * Time\_Lenght\_Pre - 0.304 * TrattamentoRv$	40.121	2	0.260	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Spatial Len</b>	$6.481 + 0.0002 * Spatial\_Len\_Pre + 0.007 * Et\grave{a}$	7.278	2	0.312	$8.6 \times 10^{-6}$
<b>Avg Speed</b>	$3.730 + 0.003 * Avg\_Speed\_Pre + 0.766 * TrattamentoRv + 0.993 * TraumaEmorragico + 0.520 * Traumalschemico + 0.345 * TraumaMielite + 0.297 * TraumaTce - 0.598 * TrattamentoRv : TraumaEmorragico$	23.872	7	0.226	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Sub Movuments</b>	$2.410 + 0.024 * Sub\_Movument\_Pre - 0.336 * TrattamentoRv$	43.414	2	0.290	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Target Distance</b>	$3.602 + 0.004 * Target\_Distance\_Pre + 0.015 * Et\grave{a} + 0.767 * TrattamentoRv + 0.043 * TraumaEmorragico - 0.159 * Traumalschemico + 1.037 * TraumaMielite - 0.446 * TraumaTce - 0.017 * Et\grave{a} : TrattamentoRv$	38.751	8	0.218	$2.2 \times 10^{-16}$

Tabella 39. Esercizio Extrarotazione: tabella dei modelli di regressione stimati con relativi valori del test sulle Deviance Residue, gradi di libert  della distribuzione  $\chi^2$ , Parametro di Dispersione e Livello di Significativit  Osservato del test.

➤ **Esercizio Pronosupinazione:**

I modelli di regressione stimati per le variabili di risposta (Tab.40) prevedono tutti la presenza di un legame con la variabile pre terapia corrispondente, ad eccezione del modello stimato per la variabile Target Distance. I modelli stimati per le variabili Spatial Error, Time Lenght, Spatial Len e Target Distance evidenziano un'influenza da parte della variabile Et  sulla variabile risposta. La variabile Trattamento ha un legame con la variabile di risposta in tutti i modelli ad eccezione di quello stimato per le variabili Distance Error e Spatial Len. Tutti i modelli stimati per le variabili, ad eccezione di quello stimato per la variabile Distance Error, evidenziano un legame con la variabile Trauma.

Le interazioni tra variabili sono presenti nei modelli stimati per le variabili Spatial Error, Time Lenght tra le variabili Et  e Trauma, Et  e Trattamento, Trattamento e Trauma e tra le variabili Et , Trauma e Trattamento; per le variabili Avg Speed e Sub Movuments tra le variabili Trattamento e Trauma; per la variabile Target Distance tra le variabili Et  e Trauma, Et  e Trattamento e Trattamento e Trauma.

I livelli di significativit , dei test di adattamento dei modelli stimati, ci permettono di affermare che i modelli si adattano bene ai dati, nonostante la presenza di valori anomali

renda approssimativamente non normale la distribuzione dei residui per i modelli legati alle variabili Spatial Error, Spatial Len e Target Distance.

Variabile	Funzione del modello	Statistica $W_p$	Gdl	Parametro Dispersione	Pr(>Chi)
<b>Spatial Error</b>	$13.574 + 0.000 * Spatial\_Error\_Pre - 0.051 * Et\grave{a}$ $- 1.034 * TrattamentoRv - 3.854 * TraumaEmorragico$ $- 2.976 * Traumalschemico + 0.110 * TraumaMielite$ $- 3.025 * TraumaTce + 0.014 * Et\grave{a} : TrattamentoRv$ $+ 0.062 * Et\grave{a} : TraumaEmorragico$ $+ 0.051 * Et\grave{a} : Traumalschemico + 0.059 * Et\grave{a} : TraumaTce$ $+ 2.174 * TrattamentoRv : TraumaEmorragico$ $- 0.034 * Et\grave{a} : TrattamentoRv : TraumaEmorragico$	27.372	13	0.308	$2.3 \times 10^{-13}$
<b>Distance Error</b>	$5.233 + 0.002 * Distance\_Error\_Pre$	1.096	1	0.061	$2.2 \times 10^{-5}$
<b>Time Length</b>	$1.45401 + 0.334 * Time\_Lenght\_Pre - 0.021 * Et\grave{a}$ $- 2.428 * TrattamentoRv - 2.180 * TraumaEmorragico$ $- 0.423 * Traumalschemico + 0.278 * TraumaMielite$ $+ 0.315 * TraumaTce + 0.026 * Et\grave{a} : TrattamentoRv$ $+ 0.029 * Et\grave{a} : TraumaEmorragico$ $+ 0.007 * Et\grave{a} : Traumalschemico - 0.011 * Et\grave{a} : TraumaTce$ $+ 2.977 * TrattamentoRv : TraumaEmorragico$ $- 0.039 * Et\grave{a} : TrattamentoRv : TraumaEmorragico$	30.884	13	0.382	$7.7 \times 10^{-12}$
<b>Spatial Len</b>	$6.067 + 0.001 * Spatial\_Len\_Pre + 0.000 * Et\grave{a}$ $- 0.0201 * TraumaEmorragico$ $+ 0.134 * Traumalschemico - 0.060 * TraumaMielite$ $- 0.232 * TraumaTce$	8.939	6	0.209	$1.3 \times 10^{-7}$
<b>Avg Speed</b>	$4.299 + 0.004 * Avg\_Speed\_Pre$ $+ 0.568 * TrattamentoRv + 0.314 * TraumaEmorragico$ $+ 0.141 * Traumalschemico - 0.218 * TraumaMielite$ $- 0.151 * TraumaTce$ $- 0.492 * TrattamentoRv : TraumaEmorragico$	14.499	7	0.135	$2.2 \times 10^{-16}$
<b>Sub Movuments</b>	$2.762 + 0.022 * Sub\_Movument\_Pre$ $- 0.808 * TrattamentoRv - 0.308 * TraumaEmorragico$ $+ 0.072 * Traumalschemico + 0.186 * TraumaMielite$ $- 0.135 * TraumaTce$ $+ 0.544 * TrattamentoRv : TraumaEmorragico$	34.393	7	0.446	$5.3 \times 10^{-14}$
<b>Target Distance</b>	$9.559 - 0.076 * Et\grave{a} - 1.191 * TrattamentoRv$ $- 4.694 * TraumaEmorragico - 3.727 * Traumalschemico$ $+ 0.019 * TraumaMielite - 3.762 * TraumaTce$ $+ 0.009 * Et\grave{a} : TrattamentoRv$ $+ 0.073 * Et\grave{a} : TraumaEmorragico$ $+ 0.063 * Et\grave{a} : Traumalschemico + 0.059 * Et\grave{a} : TraumaTce$ $+ 0.585 * TrattamentoRv : TraumaEmorragico$	5.317	11	0.091	$1.9 \times 10^{-8}$

Tabella 40. Esercizio Pronosupinazione: tabella dei modelli di regressione stimati con relativi valori del test sulle Devianze Residue, gradi di libert\`a della distribuzione  $\chi^2$ , Parametro di Dispersione e Livello di Significativit\`a Osservato del test.

### 3.3 Conclusioni

I modelli di regressione stimati in questo capitolo evidenziano come, per tutti gli esercizi a cui si sono sottoposti i pazienti, i valori delle variabili prima della terapia abbiano un'influenza sulla variabile di risposta, ad eccezione del modello stimato per la variabile Target Distance nell'esercizio di Pronosupinazione.

La maggior parte dei modelli ha inoltre evidenziato un legame tra la variabile di risposta ed il tipo di trattamento ricevuto ad eccezione della variabile Spatial Error negli esercizi Simple Reaching, Anca sx-Ginocchio dx, Elevazione ed Extrarotazione; per la variabile Distance Error negli esercizi Simple Reaching e Anca sx-Ginocchio dx; per la variabile Time Length nell'esercizio Simple Reaching; per la variabili Spatial Len negli esercizi Simple Reaching, Anca sx-Ginocchio dx, Elevazione ed Extrarotazione; per la variabile Avg Speed nell'esercizio Simple Reaching e per la variabile Sub Movuments negli esercizi Simple Reaching e Elbow Flexion.

La variabile Sesso influenza significativamente le variabili risposta Spatial Error, Distance Error, Time Length e Sub Movuments nell'esercizio Abduzione; la variabile Spatial Len negli esercizi Tight Slide e Abduzione; la variabile Avg Speed negli esercizi Tight Slide, Simple Reaching, Abduzione ed Elevazione; la variabile Target Distance nell'esercizio Elevazione.

Il tipo di trauma subito dal paziente influisce sulla variabile risposta Spatial Error negli esercizi Elbow Flexion, Anca sx-Ginocchio dx e Pronosupinazione; sulle variabili Distance Error e Spatial Len negli esercizi Elbow Flexion e Anca sx-Ginocchio dx; sulla variabile Time Length negli esercizi Elbow Flexion, Elevazione e Pronosupinazione; sulla variabile Avg Speed negli esercizi Elbow Flexion, Anca sx-Ginocchio, Elevazione, Extrarotazione e Pronosupinazione; sulla variabile Sub Movuments negli esercizi Tight Slide, Elevazione e Pronosupinazione e sulla variabile Target Distance negli esercizi Simple Reaching, Elbow Flexion, Anca sx-Ginocchio dx e Target Distance.

La stima dei modelli ha evidenziato delle interazioni, nel modello stimato nell'esercizio Tight Slide, per la variabile Sub Movuments, tra le variabili Età e Trattamento, Età e Trauma, Trattamento e Trauma e tra le variabili Età, Trattamento e Trauma. Nell'esercizio Simple Reaching le interazioni sono presenti tra le variabili Trauma e Trattamento per il modello stimato per la variabile Target Distance. Per i modelli stimati nell'esercizio Elbow Flexion sono presenti interazioni tra le variabili Età e Trattamento, Età e Trauma e Trattamento e Trauma nel modello legato alla variabile Spatial Error; nel modello stimato per la variabili Distance Error le interazioni sono presenti tra le variabili Età e Trattamento e tra le variabili

Trattamento e Trauma ; nel modello della variabile Time Length tra le variabili Età e Trattamento, Età e Trauma e tra le variabili Età, Trattamento e Trauma ; nel modello stimato per la variabile Spatial Len tra le variabili Trattamento e Trauma; nei modelli stimati per per le variabili Avg Speed e Target Distance tra le variabili Età e Trattamento, Età e Trauma, Trattamento e Trauma ed Età, Trattamento e Trauma. Nell'esercizio Pronosupinazione l'interazione tra variabile è presente tra le variabili Età e Trattamento, Età e Trauma, Trattamento e Trauma ed Età, Trattamento e Trauma nei modelli stimati per le variabili Spatial Error e Time Length, tra Trattamento e Trauma nei modelli stimati per le variabili Avg Speed e Sub Movuments e tra Età e Trattamento, Età e Trauma e tra Trattamento e Trauma nel modello per la variabile Target Distance.

Nell'esercizio Anca sx-Ginocchio dx le interazioni tra le variabili sono presenti nel modello stimato per la variabile Distance Error tra le variabili Età e Trauma, Età e Trattamento, Trattamento e Trauma e tra le variabili Età, Trattamento e Trauma; nel modello per la variabile Time Length tra le variabili Età e Trattamento; nel modello per la variabile Avg Speed tra le variabili Età e Trauma, Età e Trattamento, Trattamento e Trauma e tra le variabili Età, Trattamento e Trauma.

Le analisi dei residui effettuate hanno riportato per alcuni modelli una distribuzione lontana dalla normalità, ma questo è dovuto alla presenza di valori anomali.

Il test sulla bontà di adattamento dei modelli ha confermato che i modelli stimati si adattano bene ai dati a disposizione.

## ***Conclusioni***

I risultati ottenuti confermano l'efficacia della terapia riabilitativa dal punto di vista del recupero motorio dei pazienti che hanno subito un ictus: per 6 delle 7 variabili analizzate si sono registrati miglioramenti significativi per tutti gli 8 esercizi svolti dai 98 pazienti. Una sola variabile, la variabile Spatial Len, non ha riportato cambiamenti significativi per la maggior parte degli esercizi svolti, ad eccezione degli esercizi Anca sinistra-Ginocchio destro ed Extrarotazione.

Le analisi permettono di affermare che non vi sia una differenza significativa nel recupero motorio da parte dei pazienti legata al sesso. La differenza legata al trauma subito viene evidenziata solo nell'esercizio Anca sinistra-Ginocchio destro per due variabili, a favore di un recupero migliore per i pazienti che hanno subito un Ictus Emorragico e per una variabile nell'esercizio Pronosupinazione per i pazienti che hanno subito un Ictus Ischemico.

Viene riscontrato un miglioramento maggiore nel recupero riabilitativo dei pazienti che hanno svolto il ciclo di terapia tramite realtà virtuale, negli esercizi Abduzione ed Extrarotazione per le variabili Time Length, Avg Speed, Target Distance e Sub Movuments; nell'esercizio Tight Slide per la variabile Avg Speed; nell'esercizio Elevazione per le variabili Avg Speed e Time Length; nell'esercizio Abduzione per la variabile Avg Speed e nell'esercizio Pronosupinazione per le variabili Time Length e Target Distance. Nell'esercizio Simple Reaching si individua un miglioramento maggiore per i pazienti che hanno svolto la terapia convenzionale per la variabile Target Distance.

## **Bibliografia**

- Azzalini A., Scarpa B. (2012). *Data Analysis and Data Mining*. Oxford University Press, New York.
- Besozzi M. *Statistica con R per il laboratorio di analisi cliniche - ver 1.0*. <http://www.bayes.it/>
- Bland M. (2009). *Statistica Medica*. Apogeo, Milano.
- Fedi F. (2006). *Modelli Lineari Generalizzati: un'applicazione*.  
[http://www.mat.uniroma3.it/scuola\\_orientamento/alumni/laureati-PFA/fedi/tesina-PFA.pdf](http://www.mat.uniroma3.it/scuola_orientamento/alumni/laureati-PFA/fedi/tesina-PFA.pdf)
- James G., Witten D., Hastie T., Tibshirani R (2014). *An Introduction to Statistical Learning with Applications in R*. Springer New York Heidelberg Dordrecht London
- Laver K.E., George S., Thomas S., Deutsch J.E., Crotty M. (2011). *Virtual reality for stroke rehabilitation*. *Cochrane Database Syst Rev* , 9:CD008349.
- Pace L., Salvan A., (2001). *Introduzione alla statistica-II-Inferenza, verosimiglianza,modelli*. Cedam, Padova
- Pauli, Ventura, Adimari, Brazzale (2010). *Materiale didattico per i laboratori di Modelli Statistici I*.
- Piccolo D., (2010). *Statistica per le decisioni*. Società editrice il Mulino, Bologna.
- Rogantin M.P. *I modelli lineari generali e generalizzati*.  
<http://www.dima.unige.it/~rogantin/ModStat/StatMat.pdf>
- Rohling M.L., M.E. Faust, Beverly B.L., Demakis G. (2000, 2005). *Effectiveness of Cognitive Rehabilitation Following Acquired Brain Injury: A Meta-Analytic Re-examination of Cicerone et al.'s Systematic Reviews*. *Neuropsychology*, **23**, 1.
- Schultheis M.T., Rizzo A.A. (Aug 2011). *The Application of Virtual Reality Technology in Rehabilitation. Rehabilitation Psychology*, Vol **46**(3), 296-311.
- Subramanian S.K., Lourenço C.B., Chilingaryan G., Sveistrup H., e Levin M.F. (2013). *Arm Motor Recovery Using a Virtual Reality Intervention in Chronic Stroke: Randomized Control Trial. Neurorehabilitation and Neural Repair*. Ed.SAGE.
- Taub E., Miller N.E., Novack T.A., Cook E.W. 3rd, Fleming WC, Nepomuceno C.S., Connell J.S., Crago J.E. (1993). *Technique to improve chronic motor deficit after stroke*. Department of Psychology, University of Alabama, Birmingham 35294. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [1993,**74**(4):347-354].
- Turolla A., Dam M., Ventura L., Tonin P., Agostini M., Zucconi C., Kiper P., Cagnin A., & Piron L. (2013). *Virtual reality for the rehabilitation of the upper limb motor function after stroke: a prospective controlled trial*. *J. Neuroeng. Rehabil.*, **10**, 85.
- Ventura L. (2012). dispense delle lezioni del corso di "Statistica Medica".
- Yeh S-C., Stewart J., McLaughlin M., Parsons T., Winstein C.J., e Rizzo A., (2007). *Evaluation Approach for Post-stroke Rehabilitation Via Virtual Reality Aided Motor Training*. *Ergonomics and Health Aspects of Work with Computers. Lecture Notes in Computer Science*, **4566**, 378-387, ed.Springer.

## **Sitografia:**

- <http://neuroplanet.blogspot.it/>
- <http://statisticaconr.blogspot.it/>
- <http://stroke.ahajournals.org/>
- <http://www.bayes.it/>
- <http://www.khymeia.com/>
- <http://www.salute.gov.it/>