

**POLITECNICO DI MILANO**

Facoltà di Ingegneria dei Sistemi  
Dipartimento di Bioingegneria  
Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica



**POLITECNICO  
DI MILANO**

DIPARTIMENTO DI  
BIOINGEGNERIA

**TBM**  
lab  
*Laboratorio di  
Tecnologie Biomediche*

**MBMC Lab**

Laboratorio di Biomeccanica del Movimento e Controllo Motorio

**GAIT ANALYSIS IN SITUAZIONI  
FUNZIONALI COMPLESSE: STUDIO DELLE  
RELAZIONI TRA ALTERAZIONI DELL'ARTO  
INFERIORE E DEL RACHIDE  
PROPEDEUTICO ALLO SVILUPPO DI  
PROCEDURE DI ANALISI OTTIMIZZATE**

***Relatore:* Prof. Carlo Albino Frigo**

***Correlatore:* Ing. Esteban Pavan**

***Tesi di Laurea di:***

**PALMISANO Alessandra**

**Matr. 720810**

**SPANNO Elisa**

**Matr. 724620**

**Anno Accademico 2009/2010**

<b>Sommario</b>	<b>pag. 7</b>
<b>Abstract</b>	<b>pag. 13</b>
<b>Introduzione e obiettivi del lavoro</b>	<b>pag. 18</b>
<b>CAPITOLO 1 Stato dell'arte</b>	<b>pag. 31</b>
<b>CAPITOLO 2 Casistica soggetti analizzati</b>	<b>pag. 38</b>
2.1 Introduzione	pag. 38
2.2 Principali patologie emerse dalle anamnesi dei soggetti	pag. 39
2.2.1 <i>Patologie del piede</i>	pag. 40
2.2.2 <i>Patologie del ginocchio</i>	pag. 44
2.2.3 <i>Dismetria degli arti inferiori (ipometria)</i>	pag. 46
2.2.4 <i>Deviazione scoliotica del rachide (scoliosi)</i>	pag. 48
2.2.5 <i>Metatarsalgia</i>	pag. 51
2.2.6 <i>Gonalgia</i>	pag. 53
2.2.7 <i>Lombalgia</i>	pag. 55
2.3 Quadro generale dei soggetti e delle patologie	pag. 56
<b>CAPITOLO 3 Strumentazione e metodo</b>	<b>pag. 60</b>
3.1 Introduzione	pag. 60
3.2 Acquisizione dei dati	pag. 60
3.2.1 <i>Sistema optoelettronico</i>	pag. 60
3.2.2 <i>Piattaforma dinamometrica</i>	pag. 63
3.2.3 <i>Impostazione del laboratorio</i>	pag. 63
3.2.4 <i>Calibrazione</i>	pag. 64
3.2.5 <i>Protocollo Saflo esteso</i>	pag. 64
3.2.6 <i>Prove acquisite</i>	pag. 67
3.3 Elaborazione e analisi dei dati	pag. 68
3.3.1 <i>Fase preliminare</i>	pag. 68
3.3.2 <i>Elaborazione tramite Matlab</i>	pag. 69
3.3.3 <i>Analisi cinematica e dinamica</i>	pag. 71
3.3.4 <i>Analisi dei dati</i>	pag. 73
<b>CAPITOLO 4 Risultati</b>	<b>pag. 80</b>
4.1 Introduzione	pag. 80
4.2 Soggetto BAWI	pag. 80
4.3 Soggetto POGI	pag. 84
4.4 Soggetto ANFA	pag. 88
4.5 Soggetto CAGE	pag. 91
4.6 Soggetto CIMO	pag. 93

4.7 Soggetto COBA	pag.	94
4.8 Soggetto COPA	pag.	96
4.9 Soggetto DISA	pag.	98
4.10 Soggetto GEAD	pag.	99
4.11 Soggetto HAGI	pag.	101
4.12 Soggetto PIDI	pag.	103
<b>CAPITOLO 5 Discussione</b>	<b>pag.</b>	<b>106</b>
<b>CAPITOLO 6 Conclusioni e sviluppi futuri</b>	<b>pag.</b>	<b>110</b>
<b>Appendice</b>	<b>pag.</b>	<b>112</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>pag.</b>	<b>125</b>
<b>Ringraziamenti</b>	<b>pag.</b>	<b>127</b>

## Indice delle Figure

<b>Fig. 1</b>	<i>Articolazione dell'anca o coxofemorale</i>	<b>pag. 24</b>
<b>Fig. 2</b>	<i>Rotazione della pelvi intorno ad un asse trasverso passante per ambedue le articolazioni dell'anca; A - rotazione all'indietro; B - rotazione in avanti</i>	<b>pag. 25</b>
<b>Fig. 3</b>	<i>Oscillazione della pelvi attorno ad un asse antero-posteriore su una sola articolazione dell'anca; A - posizione neutrale; B - stazione sull'arto inferiore di destra</i>	<b>pag. 26</b>
<b>Fig. 4</b>	<i>Rotazione delle pelvi intorno ad un asse longitudinale, su una sola articolazione dell'anca, vista sopra. A - posizione neutrale; B - rotazione a sinistra sull'arto inferiore sinistro (equivalente alla rotazione mediale del femore sinistro)</i>	<b>pag. 26</b>
<b>Fig. 5</b>	<i>Articolazione del ginocchio</i>	<b>pag. 27</b>
<b>Fig. 6</b>	<i>Articolazione della caviglia o tibio-tarsica</i>	<b>pag. 30</b>
<b>Fig. 7</b>	<i>A - piede normale; B - piede piatto; C - piede cavo</i>	<b>pag. 40</b>
<b>Fig. 8</b>	<i>Piede piatto</i>	<b>pag. 41</b>
<b>Fig. 9</b>	<i>Valgismo del retro piede</i>	<b>pag. 41</b>
<b>Fig. 10</b>	<i>Archi plantari longitudinale e trasversale</i>	<b>pag. 41</b>
<b>Fig. 11</b>	<i>Diversi tipi di plantare per piede piatto</i>	<b>pag. 42</b>
<b>Fig. 12</b>	<i>Piede cavo</i>	<b>pag. 42</b>
<b>Fig. 13</b>	<i>A - piede normale; B - piede pronato; C - piede supinato</i>	<b>pag. 43</b>
<b>Fig. 14</b>	<i>Angolo femoro-tibiale. A sinistra ginocchio normale; a destra ginocchio valgo</i>	<b>pag. 45</b>
<b>Fig. 15</b>	<i>Angolo femoro-tibiale. A sinistra ginocchio normale; a destra ginocchio varo</i>	<b>pag. 45</b>
<b>Fig. 16</b>	<i>A sinistra rachide in condizioni normali privo di curvature sul piano frontale, a destra rachide affetto da scoliosi dorso-lombare</i>	<b>pag. 48</b>
<b>Fig. 17</b>	<i>A sinistra inclinazione del bacino per dismetria di un arto e conseguente deviazione del rachide, a destra correzione della dismetria e raddrizzamento delle curve</i>	<b>pag. 49</b>
<b>Fig. 18</b>	<i>Segni esterni di una scoliosi</i>	<b>pag. 50</b>
<b>Fig. 19</b>	<i>Letto di Cotrel per la confezione del corsetto gessato correttivo</i>	<b>pag. 50</b>
<b>Fig. 20</b>	<i>Corsetto gessato correttivo</i>	<b>pag. 50</b>
<b>Fig. 21</b>	<i>Corsetto di Milwaukee</i>	<b>pag. 51</b>

<b>Fig. 22</b>	<i>Corsetto Lionese</i>	<b>pag. 51</b>
<b>Fig. 23</b>	<i>Ritmo lombo-pelvico</i>	<b>pag. 56</b>
<b>Fig. 24</b>	<i>Esempio di telecamera a sensore matriciale indirizzabile CCD, con 4 corone di led infrarossi</i>	<b>pag. 61</b>
<b>Fig. 25</b>	<i>Hub</i>	<b>pag. 62</b>
<b>Fig. 26</b>	<i>Piattaforma dinamometrica KISTLER portatile</i>	<b>pag. 63</b>
<b>Fig. 27</b>	<i>Marker esterni, posizionati su barre metalliche</i>	<b>pag. 65</b>
<b>Fig. 28</b>	<i>Posizionamento dei marker sul soggetto</i>	<b>pag. 67</b>
<b>Fig. 29</b>	<i>Angolo di anteversione o retroversione del tronco nel piano sagittale (con riferimento assoluto rispetto ad un asse verticale) per soggetti affetti da ipometria</i>	<b>pag. 76</b>
<b>Fig. 30</b>	<i>Media degli angoli di anteversione o retroversione del tronco per i soggetti affetti da ipometria</i>	<b>pag. 76</b>
<b>Fig. 31</b>	<i>Angoli relativi sagittali delle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia</i>	<b>pag. 81</b>
<b>Fig. 32</b>	<i>Momenti articolari alle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia nel piano sagittale</i>	<b>pag. 81</b>
<b>Fig. 33</b>	<i>Componenti verticale, orizzontale e trasversale della forza di reazione al terreno</i>	<b>pag. 82</b>
<b>Fig. 34</b>	<i>Momenti esterni alle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia nel piano frontale</i>	<b>pag. 82</b>
<b>Fig. 35</b>	<i>Angoli assoluti frontali</i>	<b>pag. 82</b>
<b>Fig. 36</b>	<i>Angoli di inclinazione del tronco</i>	<b>pag. 83</b>
<b>Fig. 37</b>	<i>Angoli del bacino</i>	<b>pag. 83</b>
<b>Fig. 38</b>	<i>Angoli articolari di anca, ginocchio e caviglia nel piano sagittale</i>	<b>pag. 85</b>
<b>Fig. 39</b>	<i>Momenti articolari di anca, ginocchio e caviglia nel piano sagittale</i>	<b>pag. 85</b>
<b>Fig. 40</b>	<i>Componenti verticale, orizzontale e trasversale della reazione al terreno</i>	<b>pag. 86</b>
<b>Fig. 41</b>	<i>Momenti esterni di anca, ginocchio e caviglia nel piano frontale</i>	<b>pag. 86</b>
<b>Fig. 42</b>	<i>Angoli assoluti frontali</i>	<b>pag. 87</b>
<b>Fig. 43</b>	<i>Angoli di inclinazione del tronco</i>	<b>pag. 87</b>
<b>Fig. 44</b>	<i>Angoli del bacino</i>	<b>pag. 87</b>

**Indice delle Tabelle**

<b>Tab. 1</b>	<i>Caratteristiche principali dei soggetti analizzati</i>	<b>pag. 38</b>
<b>Tab. 2</b>	<i>Soggetti affetti da patologie del piede</i>	<b>pag. 40</b>
<b>Tab. 3</b>	<i>Soggetti affetti da patologie del ginocchio</i>	<b>pag. 44</b>
<b>Tab. 4</b>	<i>Soggetti affetti da dismetria degli arti inferiori (ipometria)</i>	<b>pag. 46</b>
<b>Tab. 5</b>	<i>Soggetti affetti da deviazione scoliotica del rachide (scoliosi)</i>	<b>pag. 48</b>
<b>Tab. 6</b>	<i>Soggetti affetti da metatarsalgia</i>	<b>pag. 51</b>
<b>Tab. 7</b>	<i>Soggetti affetti da gonalgia</i>	<b>pag. 53</b>
<b>Tab. 8</b>	<i>Soggetti affetti da lombalgia</i>	<b>pag. 55</b>
<b>Tab. 9</b>	<i>Rappresentazione tabellare del quadro generale soggetti e patologie</i>	<b>pag. 59</b>
<b>Tab. 10</b>	<i>Nomi dei marker utilizzati nel modello e relativi punti di reperi su cui vengono posizionati</i>	<b>pag. 66</b>
<b>Tab. 11</b>	<i>Variabili di interesse nell'analisi cinematica</i>	<b>pag. 71</b>
<b>Tab. 12</b>	<i>Variabili dinamiche utilizzate</i>	<b>pag. 73</b>
<b>Tab. 13</b>	<i>Dati di anamnesi dei soggetti analizzati</i>	<b>pag. 74</b>

L'esistenza di relazioni tra patologie riguardanti gli arti inferiori e compromissioni relative alla colonna vertebrale è oggetto di questioni aperte nel settore clinico riabilitativo come in altri settori nei quali è importante la definizione esatta delle disabilità che un danno può comportare. In letteratura sono molteplici le controversie riferite all'argomento trattato nel presente lavoro, ma le metodologie di indagine utilizzate non sono riuscite ad andare oltre lo sviluppo di ipotesi e valutazioni soggettive.

Per questo, lo scopo del presente lavoro è di svolgere un'indagine preliminare su una popolazione di soggetti affetti da compromissioni funzionali che riguardano gli arti inferiori ed il rachide, al fine di individuare possibili sviluppi metodologici della Gait Analysis che permettano di analizzare correttamente e in modo relativamente automatico e quantitativo le relazioni tra alterazioni funzionali o strutturali dell'arto inferiore e situazioni patologiche acute o croniche del rachide.

La scelta dei soggetti da analizzare è stata effettuata grazie alle indicazioni fornite dai clinici riguardo ad esami baropodometrici e all'anamnesi clinica. Nello specifico, il campione studiato è composto da 11 adulti tra 28 e 45 anni (età media circa 37 anni), con numerose e diverse compromissioni sia alla colonna vertebrale che agli arti inferiori, legate a patologie strutturali e funzionali soprattutto di tipo ortopedico.

La metodologia di elezione per questo studio è la Gait Analysis, ovvero l'utilizzo di strumentazioni integrate, presenti nel laboratorio di Biomeccanica del Movimento e Controllo Motorio del Dipartimento di Bioingegneria del Politecnico di Milano, che forniscono informazioni di tipo cinematico, dinamico ed elettromiografico sul fenomeno del movimento.

Le acquisizioni, il tracking e la prima parte di elaborazione dei dati sono stati effettuati tramite il sistema optoelettronico SMART-e, associato ad una piattaforma dinamometrica Kistler per la rilevazione della forza di reazione al terreno durante il cammino.

Nella fase di acquisizione è stato utilizzato il protocollo Saflo esteso che, oltre ai marker sulla cute, prevede il posizionamento di marker estesi in corrispondenza dell'articolazione tarso-metatarsale, sulla parte anteriore della tibia, tra il condilo femorale laterale e mediale, per una migliore identificazione dei movimenti torsionali dei segmenti. Sono state effettuate prove di standing e cammino a piedi nudi sull'intero campione

oggetto di studio e, per quanto riguarda 8 degli 11 soggetti presi in esame, sono state svolte le prove anche con l'utilizzo di scarpe con plantari.

Sulla base delle prove di cammino effettuate, sono stati ottenuti i grafici relativi agli andamenti delle variabili cinematiche e dinamiche proprie della gait analysis, oltre ai parametri spazio-temporali del ciclo del passo di ogni soggetto.

La seconda parte dell'elaborazione dei dati è stata eseguita utilizzando diversi programmi sviluppati in ambiente Matlab<sup>®</sup>. Dopo aver calcolato le variabili di cinematica e dinamica, sono stati generati i grafici rappresentativi dell'andamento nel tempo di ogni variabile per i due arti, confrontato con l'andamento nel tempo della stessa per soggetti sani. Per ogni istante di tempo vengono rappresentate la media e la deviazione standard.

L'analisi dei dati è stata sviluppata secondo tre diverse modalità di lavoro:

- prima modalità di analisi dei dati:
  - studio della storia clinica pregressa dei soggetti analizzati e classificazione degli stessi basata sui problemi dai quali sono colpiti: scoliosi, lombalgia e discopatia per quanto riguarda il rachide; gonalgia, dismetria, fratture, piede piatto e iperpronazione del piede per quanto riguarda gli arti inferiori;
  - analisi statistica basata sui gruppi patologici individuati, per la quale sono state utilizzate delle funzioni che, a partire da archivi di soggetti diversi, creano gli archivi relativi alla variabile biomeccanica selezionata, cercano le differenze tra due archivi a confronto, analizzando, con il test t-Student, la simmetria tra le forme d'onda selezionate;
  - confronto per ogni gruppo tra le rappresentazioni grafiche ottenute dall'analisi statistica e le rappresentazioni degli andamenti delle variabili dei singoli soggetti appartenenti al gruppo stesso (i risultati di questa fase hanno indotto all'avvio di una diversa modalità di lavoro);
- seconda modalità di analisi dei dati:
  - ricerca di caratteristiche comuni negli andamenti delle variabili di tutti gli 11 soggetti del campione;
  - partendo da questa classificazione basata sugli andamenti, ricerca in anamnesi di almeno una patologia comune tra soggetti aventi andamenti simili (anche in questo



caso i risultati non sono stati utili ai fini dello scopo prefissato, si è passati allora ad una terza modalità di lavoro);

▪ terza modalità di analisi dei dati:

- non più l'analisi dei soggetti considerati come gruppi o come unico campione, ma un'analisi basata sul singolo soggetto.

I risultati ottenuti con la terza modalità di analisi dei dati sono stati gli unici a fornire una base sulla quale poter formulare delle osservazioni e delle discussioni. Dapprima è stata intrapresa una nuova fase di studio della storia clinica pregressa dei soggetti analizzati, improntata sulla determinazione di un dettagliato quadro clinico individuale, con lo scopo di trovare caratteristiche e patologie potenzialmente legate al comportamento del tronco e degli arti inferiori. Successivamente sono state confrontate qualitativamente le rappresentazioni grafiche delle variabili cinematiche e dinamiche, per cercare una conferma delle problematiche cliniche raccolte da anamnesi e per studiare le eventuali incoerenze o le eventuali nuove informazioni emerse dal confronto stesso. Infine, si sono delineati i profili relativi ai diversi soggetti, in cui sono emerse le patologie più rilevanti, per arrivare alla definizione di ipotesi eziologiche che giustifichino gli andamenti delle variabili considerate, in relazione ai legami tra patologie del rachide e patologie degli arti inferiori.

Per la ricerca di conferme tra dati di anamnesi e dati relativi all'analisi del cammino effettuata, sono stati valutati in primo luogo gli angoli sagittali delle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia. Sulla base dell'esistenza o meno di conferme dell'anamnesi, sono state ricercate altre evidenze nel quadro relativo ai momenti nel piano sagittale e frontale e successivamente nell'andamento delle componenti di reazione al terreno. Inoltre, essendo il corpo una catena cinematica, ogni variazione o anomalia relativa agli arti inferiori, si ripercuote comunque sul comportamento di bacino e tronco, e viceversa, perciò sono stati analizzati anche tali andamenti, con lo scopo di avere ulteriori riscontri delle problematiche di ogni soggetto.

Le patologie di maggiore incidenza nel campione esaminato, relative sia alle articolazioni degli arti inferiori, sia all'orientazione di tronco e bacino erano: piede piatto/cavo, piede pronato/supinato, ginocchio valgo/varo, ipometria di un arto, scoliosi,

metatarsalgia, gonalgia, lombalgia. Dai risultati dell'analisi è emerso che i meccanismi di compenso e gli atteggiamenti alterati assunti dai soggetti durante il cammino sono spesso associati proprio a queste situazioni patologiche.

Nel caso dei 7 soggetti con dismetria strutturale o funzionale, dall'analisi degli andamenti degli angoli articolari di anca, ginocchio e caviglia nel piano sagittale, risulta evidente un'eccessiva estensione per l'arto ipometrico ed una maggiore flessione dell'arto più lungo.

In seguito all'osservazione dell'andamento dell'angolo alla caviglia nel piano sagittale, invece, si sono delineati diversi profili rispetto agli atteggiamenti del piede. Ci sono infatti sia soggetti che a contatto con il terreno accentuano la dorsiflessione e ricercano un appoggio retro podalico, sia soggetti che hanno una ridotta dorsiflessione e un tipo di appoggio avampodalico.

L'analisi subito successiva a quella delle alterazioni relative alla cinematica della caviglia è stata incentrata sullo studio del momento nel piano sagittale e della componente verticale della forza di reazione al terreno. Proprio dagli andamenti di queste due variabili dinamiche infatti si possono riscontrare le ripercussioni che le anomalie nell'andamento dell'angolo alla caviglia hanno generalmente sulla spinta del soggetto. A tal proposito, è stata notata una riduzione della spinta per la totalità dei soggetti e, inoltre, una spinta anticipata nell'andamento del momento dorsiflessorio per i soggetti che anticipano l'appoggio, dorsiflettendo eccessivamente la caviglia.

Lo studio del comportamento del piede è stato molto complesso a causa di compromissioni a volte non presenti in anamnesi né immediatamente evidenti dall'osservazione degli andamenti delle variabili. Inoltre, spesso uno stesso soggetto ha diverse alterazioni sia anatomiche che biomeccaniche a seconda che si parli di avampiede o di retropiede, e sono proprio questi casi a provare, nell'esecuzione del gesto motorio, il condizionamento reciproco tra le disfunzioni legate alle varie componenti della catena cinematica.

Tenendo conto di queste considerazioni, giunti all'esame dei casi di varismo e valgismo del ginocchio, si è ritenuto opportuno analizzare anche gli andamenti di variabili relative all'anca e agli angoli di inclinazione di coscia e gamba, oltre che al ginocchio. Grazie a questo tipo di indagine è emerso che il varismo del ginocchio comporta un aumento del momento adduttore per il ginocchio, una riduzione del momento adduttore per l'anca, un'inclinazione verso l'esterno della coscia e della gamba; il valgismo, invece,

comporta una diminuzione del momento adduttore per il ginocchio, un aumento del momento adduttore per l'anca, un'inclinazione verso l'interno della coscia e della gamba.

Considerando il quadro relativo a bacino e tronco, le variabili di pelvis obliquity e di inclinazione del tronco nel piano frontale hanno fornito elementi molto significativi per l'analisi delle relazioni tra le patologie. Infatti, bacino e tronco risultano inclinati in alcuni casi per fattori riconducibili alla dismetria, in altri casi per influenza della deviazione scoliotica del rachide lombare. Ancora una volta non si può essere assolutamente certi dell'esistenza di atteggiamenti standardizzati, poiché in alcuni soggetti del campione analizzato in questo studio, nonostante la presenza di queste situazioni patologiche, la pelvi e il tronco non mostrano particolari inclinazioni durante il cammino. La giustificazione di questa mancata inclinazione è da ricercarsi, probabilmente, nello sviluppo di meccanismi di compenso o atteggiamenti antalgici totalmente individuali.

In questo quadro si inserisce la variabile relativa allo spostamento del tronco rispetto alla pelvi, che in alcuni casi ha evidenziato una ridotta mobilità tronco-bacino. Si è ipotizzato che questa limitazione possa essere dovuta ad una contrattura muscolare della zona lombare, solitamente legata ad una lombalgia da sovraccarico, a sua volta relazionabile ad una scoliosi lombare.

In conclusione, sarebbe utile analizzare gli andamenti delle variabili cinematiche e dinamiche elaborati a partire dalle acquisizioni già effettuate nello svolgimento di questo lavoro sugli stessi soggetti del campione, con l'utilizzo di plantari o rialzi inseriti nelle calzature. Infatti, potrebbe essere d'aiuto osservare l'influenza del trattamento sul cammino, soprattutto per programmare l'intervento riabilitativo, per valutare i trattamenti finora utilizzati e proporre dei nuovi.

A tal proposito, si potrebbe sviluppare un progetto di Gait Analysis con l'applicazione di plantari o rialzi nelle calzature per un campione di soggetti sani, in modo da valutare quali siano i meccanismi di adattamento di natura biomeccanica, neurologica, addirittura psicosomatica, a questo tipo di trattamento.

Sarebbe, inoltre, importante valutare l'evoluzione della situazione del campione analizzato nel presente lavoro dopo un determinato lasso di tempo, avendo cura di ampliare la numerosità dei soggetti, per conferire maggiore valenza statistica ai risultati dello studio.

Infine, è emersa la necessità di avvalersi in futuro di ulteriori e più innovativi modelli di interpretazione dei dati, che possano ottimizzare la fase di analisi, con procedure standardizzate.

## ABSTRACT

The purpose of this work was to carry out a preliminary study in subjects affected by the combined effects of several impairments regarding lower limbs and spine, in order to identify a methodological approach for Gait Analysis, which could be helpful to put in evidence the relationships between functional or structural alterations in the lower extremities and any existing pathological situation (acute or chronic) of the spine. The study of these relationships is particularly interesting from the clinical rehabilitation point of view, since the incidence of back pain is very high among adults and its etiology is often associated with lower limb alterations such as foot deformation, leg length discrepancy, varus/valgum knee, or different combinations of them. Sometimes such alterations are due to traumatic events like traffic or work accidents, surgery outcomes or faulty healing of bone fractures. The study of causative relationships between lower limbs alterations and back pain, which may also be a result of scoliosis or other pre-existing spine alterations, has gained much interest also from a medical-legal point of view.

In literature there are many controversies about the topic matter in this work, but the investigation methods used were unable to go beyond the development of assumptions and subjective judgments.

The choice of the subjects for the analysis was carried out on the basis of information provided by clinicians about the clinical history and the baropodometric examinations. Specifically, the sample studied was composed of 11 adults between 28 and 45 years (average age about 37 years) with many different impairments in the spine and in the lower limbs associated with structural and functional diseases, especially orthopedic ones.

The methodology used in this study was based on Gait Analysis. This technique includes the use of integrated systems, which are in the Laboratory of Biomechanics and Motor Control of Movement of the Department of Bioengineering of the Politecnico di Milano, able to provide us with kinematic, dynamic and electromyographic information about the movement phenomena.

In our application the electromyographic data were not considered, and the acquisition of kinematic data was performed using the SMART-e optoelectronic system; the dynamic data were obtained from a dynamometric Kistler platform which measured

the reaction force of the ground during walking. Data pre-processing (tracking, filtering, 3D reconstruction) was made through the software associated to the SMART system; the second part of data processing (joint angles, moments, and powers computations, statistical analysis of the curves) was performed using several programs developed in Matlab<sup>®</sup>.

In the acquisition phase the protocol adopted was the ‘Saflo extended protocol’ which, in addition to markers on the skin, involves placing extended markers in correspondence of the tarsal-metatarsal joint, on the front of the tibia, between the medial and lateral femoral condyle, for a better identification of the axial rotations of the segments. Tests on barefoot standing and walking have been carried out on the entire sample under study. Eight out of the 11 subjects studied, were tested also shoes with orthopedic insoles.

Graphs of the trends of the dynamic and kinematic variables were obtained in addition to spatial-temporal parameters of gait cycle of each patient.

After calculating the kinematic and dynamic variables, graphs were generated representing the time course of each variable for the two limbs compared with the time course of the same variable in healthy people. For every time frame, average and standard deviation were represented.

The data analysis was developed in three different ways:

- first approach of data analysis:
  - study of the previous clinical history and classification of the analyzed subjects based on their problems: scoliosis, low back pain and discopathy in regard to the spine; knee pain, dysmetria, fractures, flat foot and iperpronation of the foot in regard to lower limbs;
  - statistical analysis of the average patterns of each group: from the collection of data, our software created the average curves and their standard deviation for each selected biomechanical variable, allowing to look for differences between two groups, and to analyze the statistical difference with a control group of healthy subjects (t-Student’s test);
  - analysis of the patterns of each patient to ascertain whether it was similar for all the subjects in each group. This analysis revealed that variability between patients

was high, and it was masked in the average pattern. For that reason this approach was not considered meaningful to our purpose;

- second approach of data analysis:
  - finding common characteristics in the time course of the variables for all 11 people in the sample;
  - starting from this classification, searching for similarities in the clinical history of the patients. Actually the results were not as expected, due to the multiplicity of clinical situations; then a third mode of work was used;
- third approach of data analysis:
  - analysis based on single individuals and not on groups of subjects.

The results obtained with the third method of data analysis were the only ones to provide a basis on which to formulate comments and discussions. At first the study of previous medical history of the subjects was deepened in order to get a detailed clinical picture, with the aim of finding characteristics and diseases potentially linked to the behavior of the trunk and lower limbs. Then graphical representations of kinematic and dynamic variables were compared with the same curves belonging to our control population in order to find confirmation of clinical problems gathered through anamnesis and explore any inconsistencies and the new information emerged from the comparison. Finally, the profiles for the different subjects, in which the diseases seem to have an important effect on the biomechanical patterns were outlined, and etiological hypotheses were formulated. In this phase the special events appearing in the time course of the variables considered were tentatively assumed as a representation of the link between diseases of the spine and diseases of the lower limbs.

To have confirmation between anamnesis and gait analysis data, the sagittal angles of the joints of hip, knee and ankle have been primarily assessed. On the basis of the existence or not of confirmation of anamnesis, more evidences have in sought relating to the moments in the sagittal and frontal planes and, afterwards, in the curves of the ground reaction components. Moreover, being the body a kinematic chain, any variation or abnormality in the lower limbs affects the behavior of the pelvis and trunk, and vice versa,

so these time courses were also analyzed, in order to have further evidence of the problems of each subject.

The diseases with the higher incidence in the test sample were: flat/equinus foot, pronated/supinated foot, varus/valgum knee, hypometry of a limb, scoliosis, metatarsalgia, knee pain, low back pain. From the results of the analysis it has appeared that the compensatory mechanisms and the altered attitudes taken by the subjects during their gait are often associated just with these pathological situations.

In the case of the 7 patients with structural or functional dysmetria from the analysis of the trends of joint angles of hip, knee and ankle in the sagittal plane, an higher than normal extension of the hypometric limb and higher than normal flexion of the longer limb were evident.

Following the observation of the trends of the ankle angle in the sagittal plane, instead, several different foot attitudes were noticed. There are, in fact, subjects with accentuate dorsiflexion who seek for heel support in the initial contact and subjects with reduced dorsiflexion who seek for toes initial contact.

The analysis immediately following has been focused on the study of the moment in the sagittal plane and the vertical component of ground reaction force. Just from the time course of these two dynamic variables in fact one can find the effects that the abnormalities of the ankle angle can have on the subject thrust. In this regard, all subjects exhibited a reduction of thrust both considering the angles and dorsal flexion moment. For the subject who anticipated the initial contact by exaggerated ankle dorsiflexion the peak of moment was also anticipated.

The study of the behavior of the foot was very complex because of compromises which are sometimes neither evident in anamnesis nor immediately studying the time course of the variables. Moreover, often the same subject presents different anatomical and biomechanical abnormalities at the fore-foot or rear-foot, and can have different biomechanical explanations. Taking into account these considerations, examining the cases of valgum and varus knee, it was regarded as appropriate to consider also the time course of hip joint angle and thigh, shank orientations. This investigation showed that the varus knee produced an increased knee adduction moment, a reduced hip adduction moment, a tilt toward the outside of the thigh and shank; the valgum knee, instead, involves a



reduction of the knee adductor moment, an increase of the hip adduction moment and a tilt toward the inside of the thigh and shank.

Considering pelvis and trunk, pelvis and trunk obliquity variables in the frontal plane have provided very significant data for the analysis of relations between the diseases. In fact, pelvis and trunk are sometimes inclined, due to factors attributable to dysmetria, in other cases because of lumbar scoliosis. Once again you can not be absolutely sure about the existence of standardized attitudes, since in some subjects analyzed in this study, despite the presence of these pathological situations, the pelvis and trunk show no particular inclination during the gait. The justification for this lack of inclination is probably to be found in the development of totally individual compensatory mechanisms or in antalgic attitudes.

In this context, it must to be considered also the variable representing the movement of the trunk in relation to the pelvis, which in some cases showed a reduced trunk-pelvis mobility. It was hypothesized that this limitation may be due to a muscular contraction in the lumbar area, usually connected to a low back pain due to overload, wich in turn can be linked to a lumbar scoliosis.

In conclusion, it would be useful to analyze the trends of kinematic and dynamic variables drawn from the acquisitions already made in the course of this work, examining the same subject sample, not only bare foot but while using orthopedic insoles or arch supports inserted in footwear. In fact, it might be helpful to observe the effects of these treatment on the gait, especially in order to plan for the rehabilitative treatments, to evaluate the treatments already used and to suggest new ones.

In this regard, one could develop a project of Gait Analysis by the application of arch supports or orthopedic insoles inserted in footwear, examining a sample of healthy subjects in order to assess the biomechanical, neurological, even psychosomatic adaptation mechanisms, after these kind of treatment.

It would be also important to assess the evolution of the sample analyzed in this study after a certain time, examining a larger sample of subjects, providing greater statistical power to study results.

Finally, the need has arisen to use in future more and more innovative models of data interpretation that can optimize the analysis phase, with standardized procedures.

Lo scopo del presente lavoro è di svolgere un'indagine preliminare su una popolazione di soggetti affetti da compromissioni funzionali che riguardano gli arti inferiori ed il rachide, al fine di individuare possibili sviluppi metodologici della Gait Analysis che permettano di analizzare correttamente e in modo relativamente automatico e quantitativo le relazioni tra alterazioni funzionali o strutturali dell'arto inferiore e situazioni patologiche acute o croniche del rachide. Tale problematica è piuttosto sentita nel settore della riabilitazione, e ha interessanti risvolti anche per quanto riguarda la valutazione del danno in ambito medico-legale. È infatti abbastanza comune e riportato da vari operatori della riabilitazione che in situazioni conseguenti a danni di varia natura al sistema muscolo scheletrico coesistano alterazioni morfo-strutturali agli arti inferiori e al rachide. Esistono anche evidenze cliniche che atteggiamenti posturali alterati o asimmetrici possono progressivamente portare a deviazioni strutturali della colonna e a dolori a vari livelli. D'altra parte anche le originali deformità della colonna possono indurre alterati carichi agli arti inferiori con relative conseguenze negative. Nella ricerca delle relazioni causa-effetto non si possono trascurare queste osservazioni, come pure non si può prescindere dal considerare quale fosse la situazione posturale e funzionale del soggetto precedentemente all'evento causale del danno e quale potesse essere la naturale evoluzione della situazione preesistente. Tutto questo, pur di grande interesse in ambito riabilitativo e medico-legale, non è mai stato approfondito in modo quantitativo e rimane tuttora aperto a varie ipotesi e valutazioni soggettive. Probabilmente il motivo va ricercato nell'estrema complessità delle interazioni tra fattori di natura biomeccanica, neurologica, addirittura psicosomatica, e nel fatto che fino a poco tempo fa non esistevano strumentazioni adeguate per la quantificazione delle grandezze biomeccaniche in situazioni funzionali. Questo ultimo aspetto in particolare è interessante da sottolineare: la necessità di una valutazione funzionale che non si limiti alla rilevazione delle deformità o delle alterazioni del carico in condizioni statiche, ma che analizzi gli aspetti dinamici correlati al normale funzionamento della struttura. Sotto questo aspetto l'analisi del cammino, o Gait Analysis, è l'approccio fondamentale che permette di ottenere le informazioni quantitative desiderate, ed è lo strumento utilizzato nel presente lavoro. La quantità e la varietà dei dati che vengono ottenuti con questa metodica assicurano che l'essenza del fenomeno venga catturata. Altro

discorso è la messa in evidenza delle correlazioni e l'interpretazione del fenomeno stesso, che non può basarsi sulla semplice osservazione delle deviazioni dalla normalità delle singole variabili ma deve in qualche modo fare ricorso a dei modelli interpretativi. Non esistendo in letteratura esempi sufficientemente approfonditi di tali modelli, il presente studio ha lo scopo di iniziare a 'guardare dentro' al set di dati quantitativi forniti dall'analisi del cammino in soggetti con compromissioni piuttosto variegata sia agli arti inferiori sia al rachide e cominciare a delineare le correlazioni che, su base biomeccanica, possano portare ad una interpretazione corretta delle relazioni causali.

Tutte le fasi di composizione di questo lavoro vanno intese come propedeutiche all'avvio di un progetto o di una ricerca più ampia volta all'approfondimento di uno o più aspetti di questa problematica di alto impatto sociale, che preveda l'opportuno coinvolgimento di esperti di diversi settori: la medicina generale, l'ortopedia, la neurologia, la fisioterapia, la chirurgia.

Le informazioni che si ottengono da questo tipo di approccio possono essere infatti utilizzate non solo per valutare le patologie che interessano sia gli arti inferiori che il rachide, ma anche per programmare l'intervento riabilitativo (in termini di fisioterapia, farmaci, ortesi, chirurgia), e per quantificare gli effetti dell'intervento, quindi, indirettamente, per valutare i trattamenti finora utilizzati e proporre dei nuovi.

La situazione complessa dei soggetti a cui ci si riferisce nel presente lavoro, caratterizzata da alterazioni strutturali e funzionali multiple e variegata, presenta particolari difficoltà di carattere interpretativo. Infatti ciascun soggetto, caratterizzato da una storia personale e da condizioni patologiche diverse da un altro, mostrerà, come conseguenza anche di atteggiamenti compensatori sviluppati nel tempo, un pattern locomotorio che difficilmente si potrà accomunare a quello di un altro soggetto giudicato superficialmente simile sulla base di pochi elementi anamnestici.

Da qui la necessità di affrontare una prima fase di analisi delle varie situazioni patologiche di interesse in modo molto specifico e individualizzato. Infatti, come dimostrato da un nostro iniziale approccio che tende a classificare i diversi pattern locomotori sulla base dei dati clinici, la creazione di gruppi e di archivi di valori medi delle curve rappresentanti le variabili biomeccaniche di interesse porta a nascondere gli elementi caratteristici del singolo soggetto che in realtà sarebbero coerenti con certe variazioni presenti in altre variabili.

Nel presente studio si cercherà, quindi, di descrivere le modifiche degli andamenti delle curve che rappresentano angoli, momenti e potenze articolari, cercando di dare a ciascuna variazione un significato risalente alla situazione strutturale o funzionale specifica del soggetto, e su questa base si formuleranno delle ipotesi eziologiche. Questo processo, esteso eventualmente in seguito ad una popolazione più ampia di quella qui analizzata, dovrebbe portare ad individuare similitudini non in termini di singole variabili ma in termini di relazioni causali. Da questo si dovrebbero poi individuare e mettere a punto gli strumenti adeguati, di tipo algoritmico o strumentale, che possano facilitare questo tipo di analisi ed essere utilizzati facilmente in sede clinica o di valutazione medico-legale.

Per approcciarsi ad uno studio di questo tipo è fondamentale avere una conoscenza a livello anatomico e funzionale sia del rachide che degli arti inferiori. Qui di seguito se ne riportano sinteticamente gli aspetti più significativi.

## **IL RACHIDE**

Il rachide è un complesso muscolo-scheletrico formato dalla colonna vertebrale, le varie articolazioni che congiungono le vertebre tra loro, i numerosi muscoli intrinseci ed estrinseci che gli conferiscono stabilità e mobilità. Ha la funzione di sostegno della testa e del tronco; accoglie inoltre e protegge il midollo spinale che è contenuto al suo interno.

La colonna vertebrale costituisce lo scheletro del rachide; è formata da 33 o 34 ossa articolate fra loro, le vertebre. È situata nella parte dorsale del collo e del tronco e fornisce un sostegno al corpo nella statica e nella dinamica.

La colonna vertebrale può essere suddivisa in cinque segmenti:

- il segmento cervicale dà sostegno al collo;
- il segmento toracico dà sostegno al torace;
- il segmento lombare forma lo scheletro all'addome;
- i segmenti sacrale e coccigeo partecipano, insieme alle ossa dell'anca, alla costituzione dello scheletro della pelvi.

La colonna vertebrale non è rettilinea ma presenta alcune curvature sia sul piano sagittale sia su quello frontale. In proiezione laterale, infatti, presenta:

- una convessità anteriore al livello del suo segmento cervicale (lordosi cervicale);
- una convessità posteriore nel segmento toracico (cifosi dorsale);
- una convessità anteriore nel segmento lombare (lordosi lombare);
- un'ultima convessità posteriore nel segmento sopracoccigeo (cifosi sopracoccigea).

Nella proiezione anteriore della colonna è visibile una leggera curva concava a sinistra nel tratto toracico, dovuta forse alla presenza del cuore e dell'arco dell'aorta, e due curve minori di compenso, concave a destra, nei segmenti cervicale e lombare. Queste due curvature, disposte sul piano frontale, vengono definite scoliosi fisiologica e derivano probabilmente anche dall'atteggiamento posturale legato all'uso prevalente dell'arto superiore destro.

### ***I movimenti della colonna vertebrale***

Fondamentalmente essi consistono nell'incurvarsi in avanti indietro rispetto al piano sagittale (flessione ed estensione), nel piegarsi da un lato o dall'altro nel piano frontale (flessione laterale destra e sinistra) e nella rotazione a destra e a sinistra. L'ampiezza di questi movimenti varia nelle diverse parti della colonna. La flessione e l'estensione sono molto marcate nelle regioni cervicale e lombare, nelle quali i dischi intervertebrali sono spessi. Il grado totale di flessione e di estensione, nella regione del collo, raggiunge un angolo di circa 120°. La limitazione di questi movimenti nella regione dorsale è dovuta alle costole, che ostacolano la flessione e alle lunghe apofisi spinose, che ostacolano l'estensione.

In posizione eretta, il piegamento in avanti del tronco (flessione) è controllato dall'allungamento dei muscoli del dorso, gli "erettori spinali", disposti verticalmente lungo i due lati della colonna vertebrale, dal sacro fino all'osso occipitale. Alcuni di essi sono corti e altri abbracciano più vertebre. Alcuni sono obliqui ma se i muscoli su ambedue i lati agiscono simultaneamente, l'effetto della loro obliquità viene annullato. Questi muscoli sono innervati dai rami posteriori primari dei nervi spinali. In posizione eretta, il piegamento all'indietro (estensione) è controllato dai muscoli addominali anteriori, specialmente i "retti addominali". Questi muscoli sono innervati dai nervi intercostali inferiori, che costituiscono i rami primari anteriori dei nervi spinali dorsali inferiori. In posizione supina, la flessione della colonna vertebrale è realizzata dai muscoli addominali anteriori e la sua estensione dai muscoli posteriori. Vi sono numerosi muscoli vertebrali longitudinali anteriori nel collo (gli scaleni, lo sternocleidomastoideo e il lungo del collo e della testa) che flettono la colonna vertebrale; il muscolo psoas si trova sulla parte anteriore della regione lombare e serve a fletterla. Questi muscoli sono innervati dagli appropriati

rami primari anteriori ad eccezione dello sternocleidomastoideo che è innervato dal nervo spinale accessorio.

La rotazione intorno all'asse verticale è più marcata a livello del collegamento tra capo e colonna, dove l'atlante ruota intorno al dente dell'epistrofeo. La rotazione è più limitata nel resto della colonna vertebrale, ma più significativa nella regione dorsale della colonna che altrove. Essa è collegata al movimento sul piano frontale delle articolazioni tra le apofisi articolari. I muscoli obliqui del dorso sono i responsabili della rotazione. Se essi sono diretti in alto e lateralmente (per esempio, lo splenio del capo e del collo), producono la rotazione verso lo stesso lato; se diretti in alto e medialmente, producono la rotazione verso il lato opposto (per esempio il muscolo trapezio). Lo sternocleidomastoideo fa ruotare la testa verso il lato opposto. I muscoli obliqui della parete addominale anteriore fanno ruotare il tronco in modo tale che la rotazione a destra implichi la contrazione del muscolo obliquo interno destro.

La possibilità di flessione laterale a destra e a sinistra non è molto marcata in qualche tratto della colonna vertebrale, ma è più agevole nelle regioni cervicale e lombare anziché in quella dorsale.

## **GLI ARTI INFERIORI**

Gli arti inferiori sono divisi in quattro parti: l'anca, la coscia, la gamba e il piede. L'anca è connessa con il tronco e, distalmente, alla coscia. Questa, insieme con la gamba e il piede costituisce la parte libera dell'arto inferiore.

Lo scheletro dell'anca è costituito dalle due ossa dell'anca (ognuna risultante dalla fusione di tre abbozzi distinti, presenti nell'infanzia: l'ileo, l'ischio e il pube) articolate fra loro e unite all'osso sacro mediante l'articolazione sacroiliaca. Ossa dell'anca, sacro e coccige formano il complesso osseo della pelvi o bacino.

Lo scheletro della coscia è formato dal femore; quello della gamba da tibia, fibula e patella; lo scheletro del piede è formato da 26 ossa riunite nel tarso, nel metatarso e nelle falangi.

Movimenti minimi sono possibili tra le ossa dell'anca e il sacro e il bacino si comporta come una singola unità in tutti i movimenti ordinari del corpo; i movimenti del bacino nel suo complesso sono necessariamente e strettamente connessi con quelli della colonna vertebrale.

Il peso del corpo è trasmesso, attraverso la pelvi, agli arti inferiori. Inversamente, nelle varie attività, come per esempio nell'atto del camminare, le forze vengono trasmesse attraverso gli arti inferiori, alla pelvi e al tronco.

L'articolazione dell'anca, come quella della spalla, è una enartrosi, il che significa che i movimenti possono avvenire su un numero infinito di assi.

L'articolazione del ginocchio consente movimenti di flessione e di estensione della gamba sulla coscia; quando la gamba è flessa, sono consentiti anche movimenti di extra e intrarotazione della gamba. Il movimento di extrarotazione è arrestato dalla tensione dei legamenti collaterali, mentre la intrarotazione è limitata dai legamenti crociati.

Il tarso forma, con metatarso, una struttura arcuata attraverso la quale il peso del corpo è trasferito sul terreno. La pianta del piede può essere volta verso l'interno e verso l'esterno da appropriati movimenti nell'articolazione della caviglia.

Di seguito vengono riportate le descrizioni delle principali articolazioni degli arti inferiori, sottolineando gli aspetti legati al movimento.

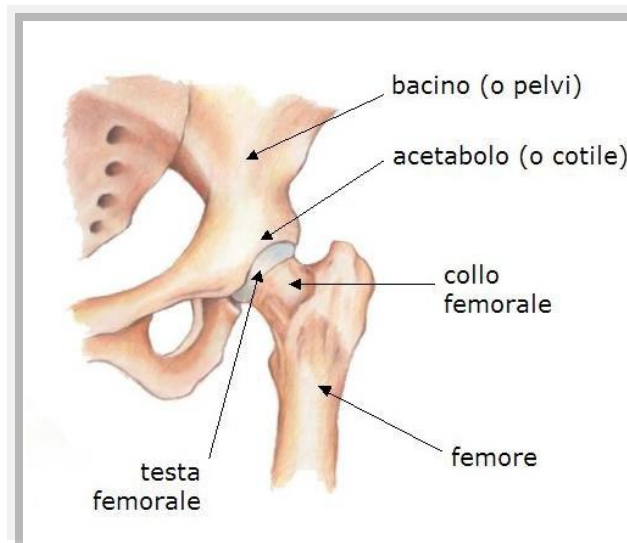
### ***Articolazione dell'anca***

L'articolazione dell'anca è un'articolazione sinoviale di tipo enartrosico; è formata dalla testa del femore e dall'acetabolo dell'osso dell'anca (Fig. 1).

I movimenti a livello dell'articolazione dell'anca avvengono attorno agli assi trasversale, antero-posteriore e longitudinale. Il movimento in avanti attorno all'asse trasversale è la flessione. Dalla posizione anatomica, con le ginocchia diritte, la possibilità di movimento è limitata a circa 60° per la tensione dei muscoli posteriori della coscia. Con le ginocchia flesse, l'ampiezza del movimento può aumentare fino a superare i 90°. Il principale flessore è il muscolo ileo-psoas, innervato dal nervo femorale e dal secondo e dal terzo nervo lombare. Muscoli addizionali che possono flettere la coscia all'anca sono il tensore della fascia lata, innervato dal nervo gluteo superiore, e il retto femorale, il sartorio ed il pettineo, innervati dal nervo femorale.

L'estensione è il movimento all'indietro dell'arto inferiore attorno all'asse trasversale e si effettua con i muscoli semitendinoso, semimembranoso e bicipite femorale capo lungo, innervati dal nervo tibiale, e con i muscoli grande, medio e piccolo gluteo. L'estensione è un movimento limitato e la sua ampiezza non va oltre i 15° circa. Il movimento di sedersi o il camminare in salita implicano la flessione della coscia sull'anca sotto il controllo degli

estensori, principalmente dei muscoli semitendinoso e semimembranoso. L'estensione è limitata dai legamenti anteriori, particolarmente l'ileo-femorale e il pubo-femorale.



**Figura 1:** Articolazione dell'anca o coxofemorale.

L'abduzione è il movimento di rotazione attorno ad un asse antero-posteriore che allontana la coscia dal piano mediale del corpo e ha un'escursione di circa 60°. È attuata dal muscolo gluteo medio, innervato dal nervo gluteo superiore; il medio gluteo può essere aiutato in questo movimento dal tensore della fascia lata e dal piccolo gluteo (innervati dal nervo gluteo superiore) e dal grande gluteo. L'abduzione è limitata dalla tensione dei muscoli adduttori e dal possibile contatto del grande trocantere con l'acetabolo.

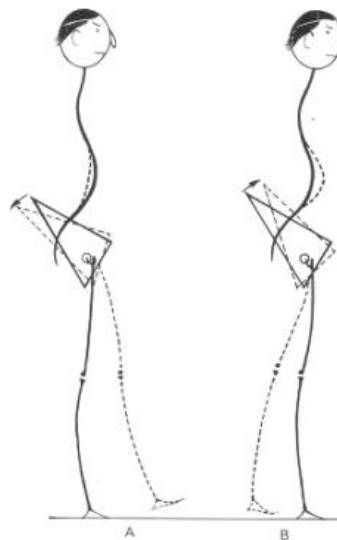
L'adduzione è il movimento di rotazione attorno ad un asse antero-posteriore che porta la coscia verso il piano mediale del corpo. Un ulteriore movimento è impossibile per l'ostacolo frapposto dall'altro arto; a meno che esso sia abdotto o che l'arto addotto sia in flessione, per cui può incrociare l'arto opposto. Ci sono circa 30° di adduzione e il movimento è dovuto alla contrazione dei muscoli adduttori, innervati dal nervo otturatorio.

La rotazione interna-esterna è il movimento attorno ad un asse longitudinale della coscia, tale che la superficie anteriore della coscia stessa viene girata medialmente o lateralmente. L'asse di rotazione passa attraverso la testa del femore e la fossa intercondiloidea. La rotazione esterna concessa è di circa 60°. Questa è limitata dalla tensione della parte anteriore della capsula e dai legamenti anteriori dell'articolazione. I muscoli otturatore interno, quadrato del femore e piriforme (innervati dal plesso lombosacrale) e l'otturatore esterno (innervato dal nervo otturatorio) sono i principali rotatori



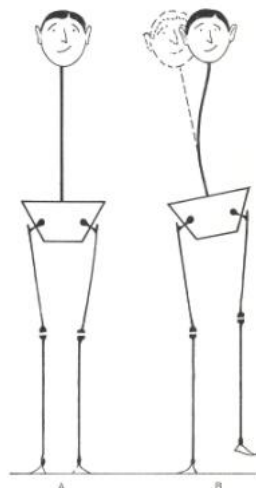
lateralmente. Essi possono essere sussidiati dal gluteo medio. La rotazione interna (o mediale), durante la quale la superficie anteriore della coscia gira medialmente, è effettuata dal piccolo gluteo, innervato dal nervo gluteo superiore, che può essere sussidiato dal gluteo medio, dal semitendinoso e dal muscolo gracile. La rotazione interna è possibile fino a 30° ed è limitata dalla tensione della parte posteriore della capsula.

I movimenti della pelvi, in una o in tutte e due le anche, hanno luogo durante le ordinarie attività. La rotazione di tutta la pelvi attorno ad un asse trasversale può aversi in avanti (ante versione) o indietro (retroversione). La rotazione in avanti ha luogo nel piegare il tronco in avanti come per toccare le dita dei piedi. Ha luogo anche, in misura minore, quando la concavità lombare è accentuata per l'estensione delle vertebre lombari (Fig. 2A). Una leggera rotazione indietro della pelvi si ha quando il tronco è esteso. Un movimento simile può essere causato dalla flessione delle vertebre lombari e dall'appiattimento della curva lombare senza nessun movimento dell'articolazione dell'anca (Fig. 2B).



**Figura 2:** *Rotazione della pelvi intorno ad un asse trasverso passante per ambedue le articolazioni dell'anca; A - rotazione all'indietro; B - rotazione in avanti.*

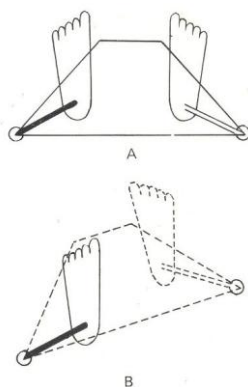
La pelvi può essere inclinata attorno a un asse antero-posteriore per mezzo di ciascuna articolazione dell'anca. L'inclinazione verso destra implica il sollevamento del lato sinistro della pelvi (Fig. 3B); l'inclinazione verso sinistra implica il sollevamento del lato destro.



**Figura 3:** Oscillazione della pelvi attorno ad un asse antero-posteriore su una sola articolazione dell'anca; A - posizione neutrale; B - stazione sull'arto inferiore di destra.

Questo movimento si vede in certa misura quando si sta in piedi su un solo arto. Stare in piedi sull'arto destro implica alzare leggermente il lato sinistro della pelvi. Il centro di gravità del corpo è spostato sull'arto portante e il lato sinistro della pelvi non può cadere a causa della contrazione del medio gluteo di destra. Nel cammino, invece, il bacino scende dal lato opposto a quello d'appoggio. Il fenomeno si chiama "Trendelenburg" e quando è inferiore a 4-5° è fisiologico, mentre al di sopra è patologico e dipende dalla debolezza dei muscoli abduttori del lato in appoggio.

La pelvi può anche muoversi in avanti e indietro su un asse verticale per mezzo di ciascuna delle articolazioni dell'anca. Un movimento in avanti del lato destro della pelvi comporta una rotazione mediale della pelvi sull'arto inferiore sinistro, un movimento indietro del lato destro della pelvi comporta invece una rotazione laterale (Fig. 4A e B).



**Figura 4:** Rotazione delle pelvi intorno ad un asse longitudinale, su una sola articolazione dell'anca, vista sopra. A - posizione neutrale; B - rotazione a sinistra sull'arto inferiore sinistro (equivalente alla rotazione mediale del femore sinistro).

La rotazione mediale avviene ad ogni passo durante la marcia, quando si allunga l'andatura con l'aumento apparente dell'estensione dell'arto su cui poggia il corpo.

L'articolazione dell'anca è molto stabile. La stabilità è dovuta alla profonda cavità dell'acetabolo e alla presenza dei potentissimi legamenti, specialmente sulla parte anteriore dell'articolazione. Quando si sta in piedi poggiando su entrambi gli arti, il movimento in avanti del tronco è controllato dai muscoli posteriori della coscia e dal grande gluteo; la rotazione all'indietro della pelvi sul femore è controllata dai notevoli legamenti anteriori dell'articolazione. Stando in piedi su un solo arto, il cadere della pelvi sul lato non appoggiato è evitato dal gluteo medio del lato appoggiato.

### ***Articolazione del ginocchio***

L'articolazione del ginocchio si attua tra le superfici dei condili del femore, le superfici dei condili della tibia e la superficie posteriore della patella (Fig. 5).

È un'articolazione sinoviale del tipo condiloideo. Il movimento principale consentito è quello di flesso-estensione, ma a ginocchio flesso si ha anche qualche movimento di rotazione interna-esterna. La stabilità dell'articolazione del ginocchio dipende dai suoi numerosi e robusti legamenti che hanno la funzione appunto di rinforzo dell'intera articolazione.

La flessione è il movimento di rotazione che porta la gamba all'indietro rispetto alla coscia, l'estensione è il movimento opposto.



**Figura 5:** *Articolazione del ginocchio.*

Nel movimento di estensione con la tibia tenuta fissa, i condili femorali ruotano in avanti e scivolano all'indietro sulla superficie articolare della tibia. Durante questo movimento le aree di contatto tra i condili femorali e le superfici articolari della tibia aumentano nella misura in cui la curvatura dei condili femorali diminuisce. Il movimento dei due condili è leggermente diverso durante l'estensione, il movimento del condilo mediale infatti si protrae maggiormente perché la sua superficie articolare è più estesa di quella del condilo laterale. Come risultato di questo movimento prolungato del condilo mediale, il femore ruota medialmente sulla tibia attorno a un asse verticale che passa attraverso il condilo mediale del femore. Questa rotazione terminale del femore durante l'estensione causa la tensione dei legamenti collaterali mediale (tibiale), laterale (fibulare) e del legamento popliteo obliquo. Se la gamba è estesa sulla coscia, al ginocchio c'è una rotazione laterale terminale della tibia sul femore. Prima che la gamba sia flessa sulla coscia, ha luogo una rotazione mediale della tibia. Poco prima della completa estensione al ginocchio, le estremità anteriori dei menischi sono portate in avanti dal femore e assumono una curvatura minore, specialmente sul davanti; in flessione, nel movimento contrario, il femore si allontana dalla parte anteriore della superficie superiore della tibia e i menischi si curvano maggiormente. L'inserzione del legamento collaterale tibiale del ginocchio sul menisco mediale fa sì che esso venga tratto in fuori quando il legamento si tende, durante l'estensione. Se in un'estensione improvvisa del ginocchio il menisco non si spostasse in questo modo, potrebbe restare preso tra il femore e la tibia e trattenuto, mentre la sua parte più periferica verrebbe spinta in fuori con il risultato che potrebbe spaccarsi sulla linea del suo asse maggiore.

I legamenti crociati sono tesi nella maggior parte delle posizioni dell'articolazione del ginocchio e impediscono lo spostamento antero-posteriore della tibia sul femore. Nella rotazione si ha un intreccio e un disintreccio dei legamenti crociati tra di loro. Nell'estensione completa il legamento crociato anteriore è teso, mentre nella flessione completa è quello posteriore ad essere teso. Quando il ginocchio è flesso ad angolo retto, può avere luogo una rotazione della gamba intorno al proprio asse longitudinale dovuta al rilassamento dei legamenti collaterali tibiale e fibulare.

Durante i movimenti di flessione ed estensione, la patella scivola sull'area intercondiloidea del femore. La distanza tra la tibia e la patella rimane costante per la presenza del tendine rotuleo. Nell'estensione completa le faccette articolari sulla superficie

profonda della patella sono in contatto con la parte prossimale dei condili femorali. La gamba si piega sulla coscia, la patella si muove distalmente sul femore; aumentando la flessione, la parte prossimale della patella è in contatto con la parte distale della superficie dei condili femorali e copre principalmente la fossa intercondiloidea. Nella flessione completa, la patella è in contatto con la faccetta semilunare posta sul condilo mediale e con la parte distale del condilo laterale.

L'estensione è causata dal muscolo quadricipite femorale, innervato dal nervo femorale; la flessione dal semimembranoso, dal semitendinoso e dal bicipite femorale, innervati dal nervo sciatico ed anche dal popliteo. Il gastrocnemio ha una debole azione flessoria. I muscoli semitendinoso, semimembranoso e bicipite femorale sono anche estensori dell'anca. Essi non possono piegare il ginocchio troppo oltre l'angolo retto se, allo stesso tempo, l'anca è estesa. Quando il ginocchio è completamente esteso nella posizione eretta, la linea d'azione del peso del corpo passa in avanti rispetto al ginocchio e ciò tende a produrre l'estensione dell'articolazione delle ginocchia, che è però prevenuta principalmente dalla capsula e dai legamenti posti dietro all'articolazione delle ginocchia con minimo sforzo muscolare.

Il muscolo popliteo può essere responsabile della rotazione interna della tibia sul femore, quando la gamba è flessa. Quando la flessione è ad angolo retto, questa rotazione della tibia è prodotta dai muscoli semimembranoso e semitendinoso. Invece la rotazione esterna del femore sulla tibia è prodotta dal bicipite femorale.

### ***Articolazione della caviglia o tibio-tarsica***

L'articolazione del collo del piede è un cardine articolare sinoviale ed è formata dall'articolazione dell'astragalo con una cavità a tre lati formata dalla superficie distale della tibia e dalle superfici articolari dei malleoli tibiale e fibulare, insieme con il legamento tibio-fibulare trasverso inferiore situato posteriormente (Fig. 6).

La tibia e la fibula sono saldamente unite l'una all'altra dai legamenti posti al di sopra dell'articolazione. L'integrità dell'articolazione dipende in parte dalla forma delle estremità inferiori della tibia e della fibula, in parte dai robusti legamenti mediale e laterale.

I movimenti che si verificano all'articolazione del collo del piede (tibio-tarsica) sono tipo a cerniera intorno a un asse che passa attraverso il corpo dell'astragalo.



**Figura 6:** Articolazione della caviglia o tibio-tarsica.

Il sollevamento della parte anteriore del piede, movimento di dorsiflessione (o estensione) è l'opposto del movimento di abbassamento del piede, la flessione plantare (o flessione). La dorsiflessione ( $25^\circ$  circa) è più limitata della flessione plantare, che arriva a circa  $50^\circ$ . La dorsiflessione è realizzata mediante la contrazione del muscolo tibiale anteriore, dell'estensore lungo dell'alluce, dell'estensore lungo delle dita e del terzo peroniero, innervati dal nervo peroniero profondo; la flessione plantare è realizzata dal gastrocnemio e dal soleo, innervati dal nervo tibiale e può essere sussidiata dal peroniero lungo e dal breve, innervati dal nervo tibiale. L'azione del gastrocnemio è meno efficace quando il ginocchio è flesso. Nella posizione eretta, la reazione d'appoggio del terreno tende a produrre la dorsiflessione all'articolazione della tibio-tarsica; questa sollecitazione è bilanciata principalmente dalla contrazione del soleo.

Il presente lavoro ha come obiettivo principale la ricerca di possibili relazioni tra problematiche relative agli arti inferiori e situazioni patologiche acute o croniche del rachide. L'esistenza di legami tra queste patologie è oggetto di controversie, in particolar modo per la mancanza di un approccio standard nella quantificazione delle alterazioni.

Nel caso della dismetria degli arti inferiori c'è un disaccordo nella letteratura su quale sia il grado di differenza di lunghezza da considerare di rilevanza clinica. Uno dei maggiori problemi nella determinazione dei dati relativi alla dismetria è l'accuratezza dei differenti metodi di misura utilizzati, inoltre esistono altri fattori difficili da quantificare che possono influenzare gli effetti della dismetria.

Nel 1985, Gofton scopre che una differenza di lunghezza tra gli arti inferiori di circa 1,27 cm può condurre a una scoliosi compensatoria del rachide lombare. Questo tipo di scoliosi è reversibile e non rappresenta una deformità permanente della colonna. Nel 1994, anche l'American Academy of Orthopaedic Surgeons pubblica uno studio nel quale una dismetria di 1,2 cm è riconosciuta capace di influenzare la direzione della curva scoliotica.

Nel 1991, invece, Frymoyer osserva che una dismetria maggiore di 1,27 cm può essere la causa di mal di schiena (come confermato da Bloedel nel 1995).

Infine, nel 2000, Harris afferma che dismetrie inferiori a 1,3 cm sono esteticamente poco rilevanti, ma che una dismetria compresa tra 0,5 e 1 cm può già essere sintomatica e richiedere un trattamento. Inoltre sostiene che non ci sono evidenze che portino a concludere che una dismetria minore di 1,3 cm possa comportare una disabilità permanente.

In conclusione, non è universalmente riconosciuta la soglia minima della misura di dismetria clinicamente rilevante. Questo è solo uno degli aspetti che influenzano la quantificazione degli effetti biomeccanici di una delle patologie oggetto del presente lavoro, infatti, si possono individuare altri fattori rilevanti:

- diagnosi non tempestiva,
- entità della patologia;
- natura strutturale o funzionale,
- capacità di sviluppare meccanismi compensatori da parte del soggetto,
- presenza di altre compromissioni cliniche nel soggetto.

I meccanismi di compenso producono effetti che possono essere considerati dirette conseguenze di una patologia.

Nel caso dell'ipometria, i meccanismi di compenso maggiormente riconosciuti negli studi che verranno di seguito citati sono diversi tipi di inclinazione sacrale e pelvica, di curve spinali, di shift pelvico, di rotazione pelvica e la pronazione del piede dell'arto più lungo.

Lo squilibrio laterale nella postura eretta, causato dalla dismetria, e la relativa inclinazione pelvica sono compensate da una scoliosi funzionale lombare convessa dal lato dell'arto più corto. La scoliosi funzionale può diventare strutturale nel tempo, cioè comportare un maggior irrigidimento della colonna e l'irreversibilità della deviazione della curva fisiologica.

Oltre alle problematiche conseguenti ai meccanismi di compenso, la dismetria può causare anomalie nel cammino, infatti per l'arto più corto si può osservare uno stacco da terra in anticipo del tallone, una fase di swing temporalmente più lunga e una fase di stance più breve.

In letteratura, varie sintomatologie mediche sono considerate conseguenze di una diversa lunghezza degli arti inferiori. Uno dei maggiori ambiti di ricerca è quello del legame tra dismetria e situazioni patologiche del rachide lombare.

L'esistenza di una relazione tra asimmetria degli arti inferiori e lombalgia cronica è supportata da diversi studi.

Nel 1981, Giles e Taylor revisionando la letteratura medica riguardante la dismetria, trovano numerosi studi che, tramite misure radiografiche, mostrano che una dismetria  $> 1$  cm si trova nel 7% della popolazione adulta senza mal di schiena pregressi, ma sale al 13-22% in pazienti con mal di schiena acuto o cronico; anche considerando una dismetria minore ( $d > 0.5$ ) si trova una grossa differenza tra popolazione sana e popolazione con mal di schiena: l'incidenza è del 44% nella popolazione sana, del 75% nel campione con lombalgia.

In uno studio degli stessi autori su 1186 pazienti con lombalgia cronica e 50 soggetti di controllo, attraverso le misure radiografiche, risulta avere dismetria  $d \geq 1$  cm, l'8% del gruppo di controllo e il 18% dei pazienti con lombalgia.

Nel 1983, Friberg confronta 653 pazienti con lombalgia cronica con 359 asintomatici (gruppo di controllo). Nei pazienti con lombalgia, l'incidenza di una dismetria  $d \geq 0,5$  cm è



di 1,7 volte superiore a quella del campione di controllo; l'incidenza di una dismetria  $d \geq 1.5$  cm è di 5.3 volte superiore a quella del gruppo di controllo. I pazienti che hanno una dismetria  $d \geq 0,5$  cm sono il 75% dei pazienti con lombalgia, mentre solo il 44% del gruppo di controllo.

Questi risultati sono in accordo con quelli di Giles e Taylor e mostrano che l'incidenza di una dismetria  $d \geq 1$  cm sembra essere maggiore in pazienti con lombalgia che nella popolazione normale.

Nel 1985, Gofton effettua uno studio su 10 pazienti con un intervallo di dismetria compreso tra 1 e 1,6 cm, valutando la loro risposta alla correzione della dismetria. I pazienti hanno una lombalgia non associabile a traumi né a patologie degenerative del rachide. Gofton descrive la lombalgia associata alla differenza di lunghezza degli arti inferiori come un episodio caratteristico dello standing, che si allevia in posizione seduta. Usando un rialzo correttivo, in tutti i casi il dolore diminuisce parzialmente o completamente. I risultati dimostrano che la lombalgia è associabile alla dismetria, in particolare quando la differenza di lunghezza tra gli arti inferiori è  $d \geq 0,9$  cm.

In contrasto con gli studi che sostengono un'associazione tra dismetria e lombalgia, ci sono altri studi con differenti conclusioni.

Nel 1988, Rothenberg riporta uno studio di Gibson (1983) che aveva esaminato 15 pazienti con dismetria dovuta a frattura di femore (verificatasi almeno 10 anni prima dello studio). Il rachide dei pazienti era stato esaminato, clinicamente e radiograficamente, prima e dopo la correzione della dismetria tramite un rialzo e le radiografie hanno mostrato che 10 pazienti su 15 avevano modifiche residue del rachide lombare, ma non c'erano evidenze che queste alterazioni fossero attribuibili alla dismetria e alla relativa scoliosi lombare. Rothenberg fa notare che questo ed altri studi si basano su numeri esigui di pazienti ed è possibile che un sottogruppo con dismetria e lombalgia sia stato perso. Sottolinea che i pazienti erano giovani e che le successive modifiche strutturali e degenerative della colonna e la lombalgia potrebbero essersi verificate con il passare del tempo. Rothenberg, inoltre, sostiene che gli atteggiamenti compensatori (tilt pelvico e torsione pelvica), che si erano verificati conseguentemente alla dismetria, erano associati alla lombalgia perché avevano indotto uno stress cronico sui legamenti e le altre strutture di tessuti molli della zona lombare. Il tilt pelvico aveva causato anche una scoliosi compensatoria che si era

risolta negli individui giovani con la correzione della dismetria, ma non si era risolta negli individui più anziani.

Nel 1989, Hoikka conclude che c'è una discutibile associazione tra dismetria e lombalgia. Il suo studio si basa su 100 adulti, donne e uomini, con lombalgia cronica, sui quali effettua delle misure per la dismetria, per le ipotetiche conseguenze sull'inclinazione della pelvi e sulla scoliosi lombare. Il valore medio di dismetria è solo di 0,5 cm. Hoikka trova una buona correlazione tra dismetria e tilt pelvico, una correlazione moderata con l'inclinazione sacrale e una lieve correlazione con la scoliosi lombare.

Nel 1991, Frymoyer afferma che non ci sono evidenze convincenti riguardo all'impatto della correzione di sottili differenze nella lunghezza degli arti inferiori sull'evoluzione della lombalgia acuta o cronica. Inoltre, Frymoyer si sofferma sulla difficoltà nel determinare la lunghezza degli arti, dovuta ad imprecisioni nella misura. Conclude che le normali variazioni posturali, incluso il grado minore di scoliosi, non hanno impatto sull'occorrenza o la progressione della lombalgia, ma riconosce che quest'area di studio è molto complessa e controversa.

Nel 1991, Soukka studia 247 soggetti, uomini e donne, di età compresa tra i 35 e i 40 anni, sui quali misura la lunghezza degli arti inferiori tramite radiografia, rilevando un ampio campione di soggetti con dismetria  $d > 2$  cm. Ricercando una possibile associazione tra differenza di lunghezza degli arti inferiori e lombalgia, Soukka non trova alcun incremento di deviazioni del rachide né un aumento dei rischi di avere lombalgia imputabili alla differenza di lunghezza degli arti inferiori.

A differenza di Giles e Taylor, i risultati di Soukka non forniscono alcun supporto all'ipotesi che il rischio di lombalgia aumenti con una dismetria compresa tra 1 e 2 cm. Nello studio di Giles e Taylor solo 4 soggetti su 50 (8%) del gruppo di controllo asintomatico aveva una differenza di lunghezza degli arti inferiori  $d \geq 1$  cm. Nel gruppo di soggetti asintomatici analizzato da Soukka, il 18,9% ha una dismetria  $d \geq 1$  cm. Nel campione di 1186 pazienti affetti da lombalgia cronica nell'ambito dell'ampio studio di Giles e Taylor, 217 pazienti, il 18,3%, aveva una dismetria  $d \geq 1$ . La percentuale corrispondente nello studio di Soukka è 16,7%.

Soukka sottolinea che precedenti studi sono arrivati a sostenere l'esistenza di relazioni, forse tralasciando dei fattori di incertezza nell'analisi statistica. Questi studi concludono che l'associazione di una lieve ipometria con il mal di schiena è ipotizzabile, che una

relazione tra disuguaglianze degli arti inferiori maggiori di 2 cm e il mal di schiena non è qualcosa di chiaro e che, prima di affermare che una dismetria misurata tramite radiografia possa essere considerata causa di lombalgia, è essenziale effettuare una radiografia del bacino e della zona lombare del rachide in postura eretta per valutare l'esistenza di tilt pelvico e di scoliosi.

Nel 1991, McCaw e Bates fanno una revisione della letteratura che associa una dismetria inferiore ai 3 cm al mal di schiena. Concludono che, mentre la letteratura sostiene l'ipotesi che la differenza di lunghezza degli arti inferiori imponga un disallineamento strutturale sulla zona lombare della schiena, non si può affermare definitivamente che ci sia un legame tra ipometria e mal di schiena. Gli autori spiegano che un tilt pelvico sommato a una differenza di lunghezza degli arti può indurre una scoliosi funzionale o transitoria, concava verso il lato dell'arto più lungo e che il grado di scoliosi è legato all'entità della differenza tra gli arti. Questa scoliosi conseguente alla dismetria è stata ipotizzata come possibile concausa nello sviluppo di un dolore alla zona lombare o alla sciatica. Gli autori concludono che sia giusto effettuare ulteriori ricerche per indagare il legame tra differenza di lunghezza degli arti inferiori e mal di schiena.

Oltre al legame tra dismetria e lombalgia, molti autori si sono soffermati sull'analisi di altre condizioni patologiche ipoteticamente causate o influenzate dalla differenza di lunghezza degli arti inferiori.

Nel 1985, Gofton rileva la presenza di degenerazioni cartilaginee nel comparto mediale del ginocchio dell'arto più lungo, soprattutto per rilevanti dismetrie (la definizione di "rilevanti" non è data). Egli osserva inoltre che i pazienti con piccole dismetrie hanno occasionalmente gonalgia, risolvibile con la correzione della dismetria, e degenerazioni cartilaginee; i dolori al grande trocantere e una forma di osteoartrosi dell'anca per l'arto più lungo, sono spesso associati alla dismetria.

Nel 1988, Rothenberg osserva che differenze di lunghezza agli arti inferiori sono associate a un graduale sviluppo di artrosi degenerativa dell'anca dell'arto più lungo, il quale va in adduzione a causa dell'inclinazione pelvica e riporta una diminuzione del rivestimento acetabolare della testa femorale, che comporta un maggiore stress da carico per centimetro quadro sull'area interessata. Rothenberg conclude che in pazienti con dismetria maggiore di 1 cm c'è una maggiore incidenza di sciatica dal lato dell'arto più

lungo, mentre sono molto comuni nell'arto più corto dolori ai tensori della fascia lata e borsite trocanterica.

Nel 1991, in una review della letteratura sulla relazione tra una dismetria minore di 3 cm e l'osteoartrosi, McCaw e Bates riconoscono innanzitutto il bisogno di un aumento di conoscenze riguardo alle implicazioni biomeccaniche della dismetria. Rilevano che l'inclinazione pelvica imposta da una ipometria può generare stress asimmetrici bilateralmente nelle articolazioni di anca e ginocchio durante la postura eretta; questi effetti aumentano l'entità delle forze interne alle articolazioni e riducono l'area di contatto delle superfici articolari, rappresentando possibili cause di osteoartrosi. McCaw e Bates concludono però che non ci sono evidenze notevoli della relazione cercata.

Nella loro review, McCaw e Bates supportano una relazione tra dismetria e fratture da stress, considerando possibile che la differenza di lunghezza tra gli arti inferiori contribuisca ad aumentare l'attivazione muscolare e a superare la soglia di stress a cui sono sottoposte le ossa da parte dei muscoli. Nello studio di Friberg su 130 militari, McCaw e Bates trovano che la maggior parte delle fratture da stress della tibia e del femore avvengono nell'arto più lungo, concludendo che le compensazioni muscolo scheletriche alla dismetria possono essere associate con le fratture da stress degli arti inferiori, ma sono necessari altri studi sui meccanismi compensatori dell'ipometria.

In un articolo del 1992, McCaw conclude che sono necessarie molte ricerche per quantificare gli effetti biomeccanici della dismetria e il modo in cui si sommano ad altri fattori, causando lesioni legate alla corsa. Considerando l'ipometria come un fattore eziologico nello sviluppo di varie patologie, causate dall'alterazione della distribuzione e dell'entità degli stress meccanici del corpo, McCaw osserva che la dismetria è legata a fratture da stress degli arti inferiori, lombalgia, coxalgia, discopatie, oltre a generare una serie di squilibri muscoloscheletrici come l'eccessivo tilt pelvico, la scoliosi, i disallineamenti dell'anca e del ginocchio e l'eccessiva pronazione del piede.

Nel 2000, Young et al. studiano il possibile effetto di una dismetria sulla torsione pelvica e sulla mobilità del tronco, simulando una differenza di lunghezza agli arti inferiori tramite l'inserimento di un rialzo. Essi rilevano che la dismetria imposta genera una maggiore rotazione anteriore del lato senza rialzo e una flessione del tronco verso lo stesso lato, suggerendo come conseguenza una scoliosi funzionale indotta dall'inserimento del rialzo.

Nel 2007, in uno studio sulla relazione tra dismetria e osteoartrosi di anca e ginocchio, Golightly et al. rilevano nei pazienti con dismetria  $d \geq 2$  cm una maggiore incidenza di osteoartrosi del ginocchio e dell'anca, piuttosto che nei pazienti senza ipometria. La dismetria può alterare o amplificare le forze articolari, causando una degenerazione delle strutture articolari e un aumento dell'osteoartrosi. Inoltre, può essere legata alla degenerazione della cartilagine articolare, a disallineamenti articolari, anche se sarebbero necessari ulteriori studi per riconoscere queste relazioni. Gli autori sottolineano che non ci sono rilevanti osservazioni riguardo al legame con l'osteoartrosi dell'anca, ma concludono che la dismetria è associata all'osteoartrosi del ginocchio, nonostante siano necessari ulteriori studi sull'incidenza, la progressione e l'entità dei sintomi delle osteoartrosi analizzate e sull'effetto dei trattamenti di correzione della dismetria sull'osteoartrosi.

In conclusione, ci sono dei consensi in letteratura riguardo all'influenza dell'ipometria sul rachide lombare, sull'anca e sugli arti inferiori. Il danno derivante dalla dismetria è in genere riferito all'arto più lungo, ma esistono anche studi in cui si dimostrano danni anche all'arto più corto. Inoltre, vengono spesso considerati come meccanismi di compenso l'eccessivo tilt pelvico e la scoliosi. Tuttavia affermare con certezza che esistano delle relazioni è molto complesso, poiché ogni patologia implica l'interazione di molteplici fattori eziologici intrinseci ed estrinseci.

## CAPITOLO 2

# CASISTICA SOGGETTI ANALIZZATI

### 2.1 Introduzione

I soggetti analizzati sono 11 adulti tra 28 e 45 anni (età media circa 37 anni), con numerose e diverse compromissioni sia alla colonna vertebrale che agli arti inferiori, legate a patologie soprattutto di tipo ortopedico.

Nella tabella 1 sono riportate le loro caratteristiche principali:

Soggetto	Sesso	Età	Peso (kg)	Altezza (cm)
ANFA	M	31	94	179
BAWI	M	29	77	174
CAGE	M	33	77	175
CIMO	F	40	54	167
COBA	F	39	78	174
COPA	F	40	61	168
DISA	M	40	80	188
GEAD	M	44	65	170
HAGI	F	45	57	162
PIDI	M	28	65	180
POGI	M	37	64	170

**Tabella 1:** Caratteristiche principali dei soggetti analizzati.

La scelta dei soggetti è stata effettuata grazie alle indicazioni della Dott.ssa Flaviani, che li ha seguiti come fisioterapista e che ha fornito gli esami baropodometrici e le indicazioni riguardanti l'esame clinico e l'esame obiettivo di tutti i soggetti, dati fondamentali per ricostruire l'anamnesi di ogni paziente.

Per poter analizzare le eventuali relazioni tra patologie degli arti inferiori e patologie del rachide, infatti, è stato necessario prima di tutto capire quale fosse il quadro clinico di partenza di ogni soggetto.

A causa delle numerose compromissioni e della diversità dei casi il campione oggetto di studio è da subito parso molto eterogeneo dal punto di vista patologico. Per questo motivo, è stata esclusa l'ipotesi di considerare i soggetti come un unico campione da analizzare statisticamente e ci si è orientati verso uno studio mirato al singolo caso.

Le informazioni riportate in questo capitolo sono tratte esclusivamente da dati clinici e di anamnesi fondamentali per le fasi di lavoro successive. Questo studio è stato effettuato per singolo soggetto e i dati d'anamnesi nel dettaglio sono riportati nell'appendice del presente lavoro.

## 2.2 Principali patologie emerse dalle anamnesi dei soggetti

Gli 11 soggetti analizzati hanno storie cliniche molto diverse tra loro, che hanno richiesto di essere esaminate singolarmente nel particolare, alla ricerca di possibili relazioni causa-effetto tra le varie patologie.

Sono comunque emerse delle patologie, soprattutto ortopediche, presenti in più pazienti e che sono state oggetto di analisi più approfondita, data la loro maggiore incidenza sul campione in esame.

Le principali patologie presenti nel campione di studio sono:

- patologie del piede (piede piatto/piede cavo, piede pronato/piede supinato);
- patologie del ginocchio (ginocchio valgo/ginocchio varo);
- dismetria degli arti inferiori (ipometria di un arto);
- deviazione scoliotica del rachide (scoliosi).

Oltre a patologie vere e proprie, spesso i soggetti sono colpiti da problemi di natura antalgica, quali:

- metatarsalgia;
- gonalgia;
- lombalgia.

Qui di seguito si riportano le incidenze delle varie patologie riscontrate nella nostra popolazione di analisi corredate di una breve descrizione delle principali caratteristiche di ciascuna situazione patologica e antalgica.

### 2.2.1 Patologie del piede

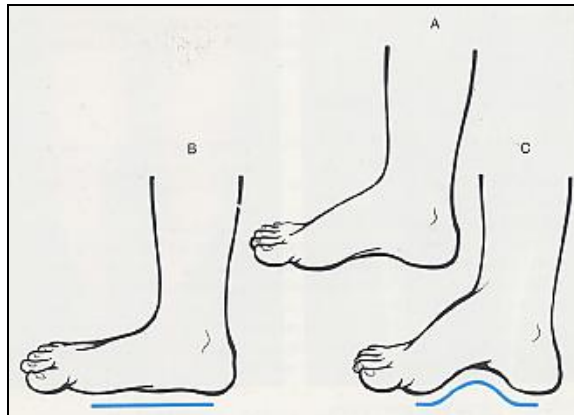


Figura 7: A - piede normale; B - piede piatto; C - piede cavo.

Per quanto riguarda i soggetti analizzati, 3 su 11 hanno piede piatto, 2 su 11 hanno piede cavo, 5 su 11 piede pronato e 6 su 11 piede supinato (Tab. 2).

PIEDE PIATTO	
Soggetto	Arto patologico
BAWI	dx
GEAD	dx-sx
PIDI	dx-sx

PIEDE CAVO	
Soggetto	Arto patologico
COBA	dx-sx
POGI	sx

PIEDE PRONATO	
Soggetto	Arto patologico
BAWI	dx
CAGE	dx-sx
CIMO	dx-sx
COPA	dx-sx
PIDI	dx-sx

PIEDE SUPINATO	
Soggetto	Arto patologico
ANFA	dx-sx
BAWI	dx
COBA	dx-sx
PIDI	dx-sx
DISA	dx-sx
POGI	dx

Tabella 2: Soggetti affetti da patologie del piede.

Il piede piatto è una deformità caratterizzata dall'appiannamento della volta plantare longitudinale e dalla deviazione del retro piede in valgismo (Fig. 8 e 9).



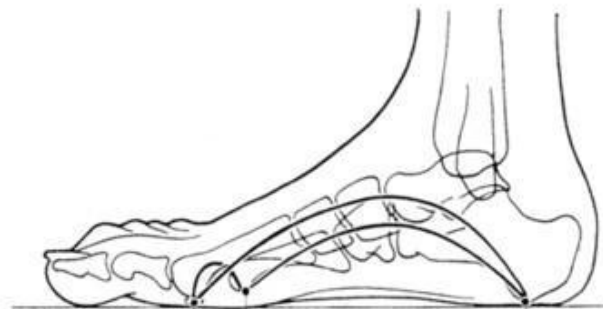


**Figura 8:** *Piede piatto.*



**Figura 9:** *Valgismo del retropiede.*

In condizioni normali, infatti, il piede non poggia al suolo con tutta la pianta, ma può essere paragonato a un tripode i cui punti d'appoggio sono il calcagno posteriormente e le teste del primo e del quinto metatarsale anteriormente. Tra questi punti d'appoggio si possono identificare due archi plantari longitudinali mediale e laterale (rispettivamente tra calcagno e primo metatarsale e tra calcagno e quinto metatarsale) e un arco trasversale (tra primo e quinto metatarsale) (Fig. 10).



**Figura 10:** *Archi plantari longitudinale e trasversale.*

Al mantenimento di questi archi contribuiscono legamenti e muscoli (in particolare il tibiale posteriore e il peroneo lungo).

Le prime alterazioni anatomo-patologiche del piede piatto riguardano il retropiede e solo successivamente si aggiungono le alterazioni dell'avampiede. Inizialmente si ha un valgismo del calcagno a livello della sotto-astragalica con deviazione mediale e plantare dell'astragalo. Successivamente si determinano le alterazioni dell'avampiede, queste sono secondarie a quelle del retropiede come reazione all'impatto col suolo durante la deambulazione.

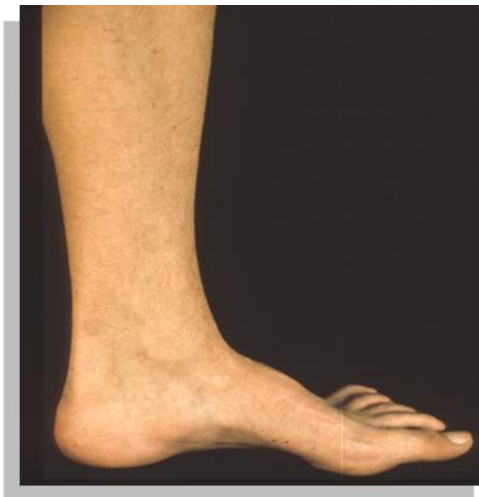
Per correggere questo tipo di deformità possono essere utilizzati plantari di vario tipo eseguiti eventualmente previo calco in gesso (Fig. 11).



**Figura 11:** *Diversi tipi di plantare per piede piatto.*

Nei casi più gravi va utilizzata la scarpa correttiva classica a polacchino con tacco prolungato all'interno, rinforzo esterno sulla tomaia, suola più alta all'interno e soletta plantare.

Per piede cavo, invece, si intende una deformità caratterizzata dall'accentuazione della volta plantare longitudinale (Fig. 12).



**Figura 12:** *Piede cavo.*

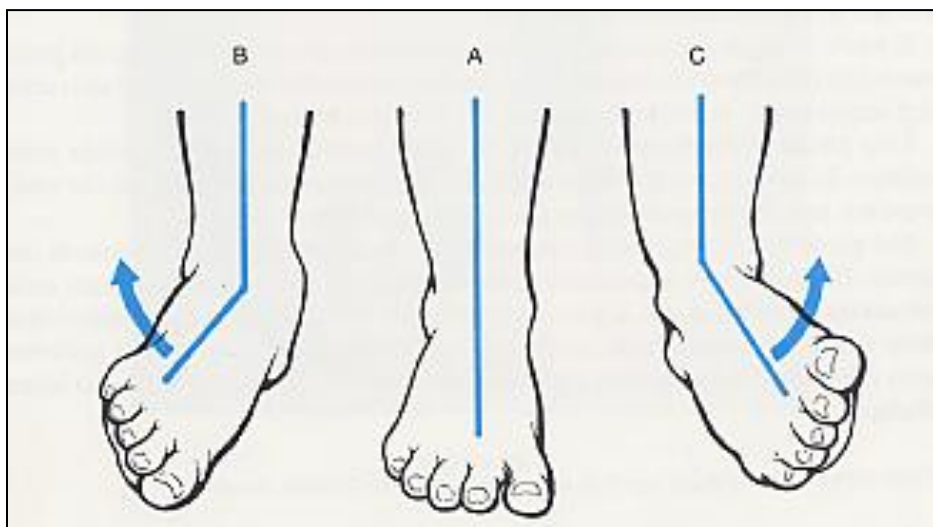
L'accentuazione della volta plantare può determinarsi per abbassamento del calcagno, nel qual caso si parla di piede cavo posteriore, oppure per abbassamento dei metatarsali, nel qual caso si definisce piede cavo anteriore. Il piede cavo anteriore è spesso accompagnato da un atteggiamento ad artiglio delle dita del piede.

Almeno inizialmente la deformità è ben tollerata, solo tardivamente iniziano i disturbi soggettivi. Infatti, quando per il deterioramento delle strutture osteoarticolari si instaurano retrazioni delle parti molli e deformazioni ossee, diminuisce l'adattabilità al suolo del piede e insorgono disturbi caratterizzati dal dolore al carico, soprattutto nei punti di maggior pressione (teste metatarsali, calcagno) e la formazione di callosità e igromi nelle zone cutanee maggiormente sollecitate.

Il trattamento consiste inizialmente nella fisiochinesiterapia (massaggi, ginnastica attiva, applicazioni di calore) e nell'applicazione di plantari con scarico delle teste metatarsali e correzione della supinazione o pronazione del retro piede.

Nelle fasi più avanzate, con rigidità incorreggibile e dolore, si ricorre all'intervento chirurgico.

Alcuni dei soggetti analizzati hanno invece altre due patologie del piede: piede pronato e piede supinato (Fig.13).



**Figura 13:** A - piede normale; B - piede pronato; C - piede supinato.

Il piede normale durante il cammino appoggia inizialmente sulla parte laterale del tallone, successivamente, con movimento rotatorio, il peso del corpo si distribuisce sull'arco laterale e sull'avampiede fino ad interessare la testa del primo metatarso. Questo movimento, che viene definito pronazione, aiuta il piede a smorzare l'impatto con il terreno.

L'iperpronazione del piede è una condizione per la quale il piede non appoggia al suolo attraverso i suoi normali punti d'appoggio. A seconda della conformazione di piede e caviglia ma anche dell'età, vi può essere un appoggio anomalo, che carica in maniera eccessiva la parte mediale.

L'appoggio in iperpronazione comporta una rotazione esagerata dell'avampiede intorno al suo asse longitudinale, in modo tale che la pianta è rivolta verso l'esterno e il piede appoggia sul bordo interno quando impatta al suolo (Fig. 13B).

L'appoggio in ipersupinazione invece comporta una rotazione dell'avampiede intorno al suo asse longitudinale, in modo tale che la pianta è rivolta medialmente e il piede appoggia sul suo bordo esterno quando impatta al suolo (Fig. 13C).

Una pronazione eccessiva fa sì che il piede continui a ruotare dopo l'impatto sul terreno invece di cominciare la fase di spinta. Questo causa una tensione eccessiva al piede, alla zona tibiale e al ginocchio e può causare dolore in queste aree.

Una supinazione eccessiva invece causa una rotazione insufficiente del piede dopo l'impatto sul terreno, generando una tensione eccessiva al piede che può provocare l'infiammazione del tendine d'Achille o la fascite plantare.

Qualora l'iperpronazione o l'ipersupinazione del piede non fossero causate da una vera e propria deformazione dell'arto, utili alla diagnosi sono gli esami baropodometrici che consentono di misurare la quantità di carico esercitata su ciascun punto d'appoggio del piede.

Nel caso di soggetto adulto pronatore o supinatore esistono in commercio delle calzature antipronazione o antisupinazione.

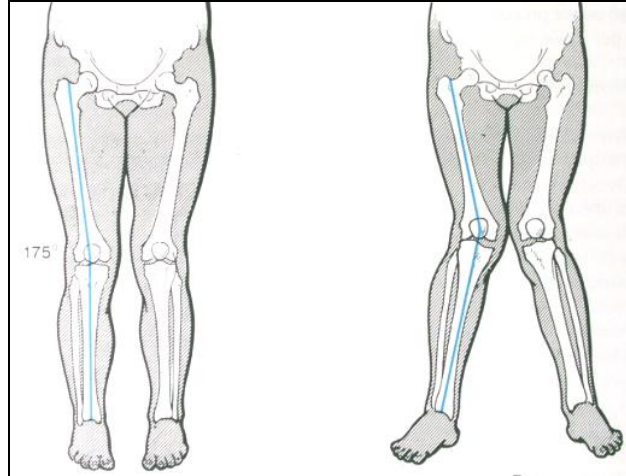
### 2.2.2 Patologie del ginocchio

VALGISMO GINOCCHIO		VARISMO GINOCCHIO	
Soggetto	Arto patologico	Soggetto	Arto patologico
ANFA	dx	ANFA	sx
COBA	dx-sx	PIDI	dx-sx
COPA	dx-sx	POGI	dx-sx

**Tabella 3:** Soggetti affetti da patologie del ginocchio.

Le patologie del ginocchio maggiormente ricorrenti nei soggetti analizzati in questo studio sono varismo e valgismo: 3 su 11 hanno valgismo, 3 su 11 hanno varismo (Tab. 3).

Il ginocchio valgo è una deformità caratterizzata dalla diminuzione dell'angolo, aperto lateralmente, formato dall'asse longitudinale del femore con l'asse longitudinale della tibia (Fig. 14).

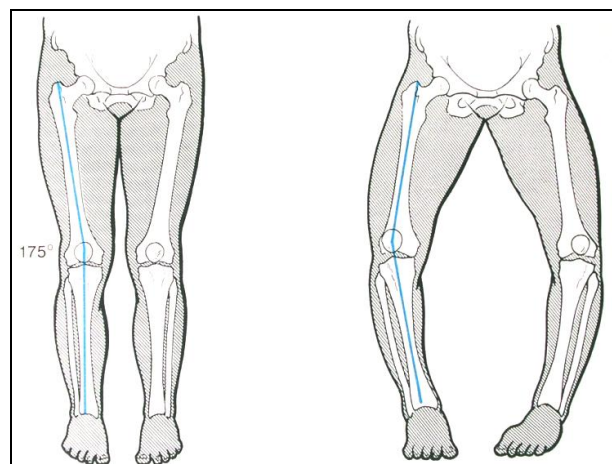


**Figura 14:** Angolo femoro-tibiale. A sinistra ginocchio normale; a destra ginocchio valgo.

Nel soggetto normale è presente un valgismo fisiologico del ginocchio, tale per cui l'angolo misurato è di circa 170-175°. Ciò è dovuto al fatto che gli assi femorali convergono verso il piano mediano essendo gli assi tibiali tra di loro paralleli.

Spesso il ginocchio valgo può trovarsi associato al piede piatto-valgo o essere la conseguenza di un'anca rigida atteggiata in adduzione.

Il ginocchio varo invece è una deformità a causa della quale l'asse longitudinale del femore e della tibia formano un angolo aperto medialmente tanto minore quanto maggiore è la deformità (Fig. 15).



**Figura 15:** Angolo femoro-tibiale. A sinistra ginocchio normale; a destra ginocchio varo.

Il ginocchio varo costituisce la deformità opposta al ginocchio valgo del quale è, generalmente, meno frequente. Mentre nel ginocchio valgo la deformità ha sede prevalentemente nella metafisi distale del femore, nel ginocchio varo la deformità è a carico soprattutto dell'epifisi prossimale e della diafisi tibiale.

Il trattamento di entrambe le patologie è di tipo chirurgico, si ricorre infatti alle osteotomie correttive.

### 2.2.3 *Dismetria degli arti inferiori (ipometria)*

7 su 11 soggetti analizzati hanno una dismetria degli arti inferiori (Tab. 4), cioè hanno i due arti di lunghezza diversa. In questo studio si parla di dismetria sempre riferendosi all'arto più corto, l'arto ipometrico.

IPOMETRIA	
Soggetto	Arto patologico
ANFA	dx
BAWI	dx
CAGE	sx
COPA	sx (apparente)
GEAD	dx
HAGI	sx
POGI	dx (apparente)

**Tabella 4:** *Soggetti affetti da dismetria degli arti inferiori (ipometria).*

Bisogna innanzitutto fare una distinzione tra ipometria strutturale e ipometria funzionale (apparente).

L'arto inferiore non è costituito da un unico segmento scheletrico, ma presenta tre articolazioni fondamentali (anca, ginocchio e sotto-astragalica) il cui atteggiamento, inteso come posizionamento reciproco dei vari segmenti scheletrici tra di loro (sacro-iliaco, iliaco-femore, femore-tibia, tibia-astragalo e astragalo-calcagno) è in grado di determinare una variazione della sua lunghezza che non è reale ma solo apparente, cioè "funzionale".

L'intero arto inferiore (prendendo come riferimento l'altezza della cresta iliaca da terra), in fase di appoggio al suolo, può variare la sua lunghezza, in base al reciproco atteggiamento dei segmenti scheletrici tra loro.

L'ipometria strutturale, chiamata anche “vera dismetria”, è definita come la differenza di lunghezza tra gli arti inferiori, risultante dalla disuguaglianza della struttura ossea. Dal punto di vista eziologico, la dismetria strutturale può essere congenita o acquisita. Tra le cause di quella congenita, la più comune riguarda le lussazioni congenite dell'anca. La forma acquisita, invece, può essere il risultato di infezioni, paralisi, tumori, interventi chirurgici di protesizzazione o di sintesi post-traumatica.

L'ipometria funzionale, o apparente, è il risultato di un rilassamento o di una contrattura muscolare ai muscoli della zona lombare del rachide, oppure può essere dovuta ad una rigidità delle articolazioni della stessa zona. Inoltre, alcune delle cause più comuni sono da ricercarsi nella scoliosi lombare, nella prono-supinazione del piede, nella abduzione dell'anca e nell'iperestensione del ginocchio dovuta all'indebolimento del quadricipite femorale.

Possibili trattamenti della dismetria sono l'utilizzo di solette propriocettive, dotate di micro-rialzi variabili da uno a tre millimetri, collocati laddove s'intende stimolare fisiologicamente la catena muscolare attivando il riflesso da stiramento, nascono allo scopo di ristabilire l'equilibrio muscolare e, di conseguenza, quello articolare. Eliminando l'adattamento (cioè l'equilibrio nello squilibrio), permettono una ri-armonizzazione dell'intero organismo (equilibrio vero e proprio). Quando attraverso la stimolazione propriocettiva permane una dismetria evidente, in questo caso potrà essere necessario applicare un rialzo artificiale che solitamente sarà (quanto meno in una prima fase del trattamento) di entità comunque inferiore rispetto alla reale differenza.

### 2.2.4 Deviazione scoliotica del rachide (scoliosi)

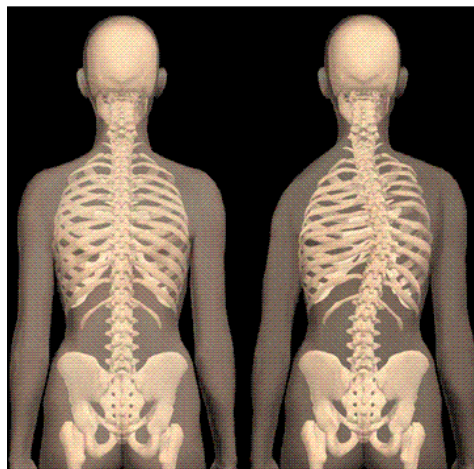
SCOLIOSI	
Soggetti	ANFA
	CAGE
	CIMO
	COBA
	HAGI
	PIDI
	POGI

**Tabella 5:** Soggetti affetti da deviazione scoliotica del rachide (scoliosi).

7 su 11 soggetti del campione analizzato (Tab. 5) hanno una deviazione scoliotica del rachide. Per scoliosi si intende una deviazione permanente del rachide sul piano frontale (Fig. 16).

La scoliosi viene definita destro-convessa o sinistro-convessa in rapporto al lato verso cui è rivolta la convessità della curva principale o primitiva. La curva principale non resta quasi mai isolata (al fine di mantenere l'asse di gravità del rachide e il capo in posizione eretta), per cui nei tratti di colonna sopra e sottostanti si formano curve secondarie di compenso di direzione opposta alla principale.

La curva primitiva è quasi sempre facilmente differenziabile da quelle secondarie in quanto vi risultano più spiccate le alterazioni vertebrali; l'angolo di curvatura è più accentuato ed è anche più difficilmente correggibile.



**Figura 16:** A sinistra rachide in condizioni normali privo di curvature sul piano frontale, a destra rachide affetto da scoliosi dorso-lombare.

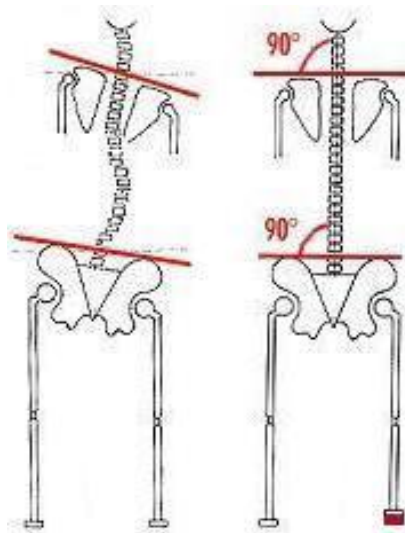


Col passare del tempo le singole vertebre subiscono alterazioni strutturali che rendono fissa e incorreggibile la curvatura scoliotica. I corpi vertebrali subiscono, per la maggiore compressione che si esercita dalla parte della concavità della curva, una deformazione trapezoidale. La deviazione scoliotica si accompagna costantemente anche a una rotazione delle vertebre in toto, attorno all'asse longitudinale del rachide e a una torsione di ogni singola vertebra.

Alcuni tipi di scoliosi, dette scoliosi funzionali, sono deviazioni non permanenti della colonna vertebrale che, almeno inizialmente, non presenta alcuna alterazione anatomica. Le deviazioni si evidenziano, generalmente, quando la colonna è in funzione, cioè nella stazione eretta o seduta e tendono a scomparire o ad attenuarsi in clinostatismo.

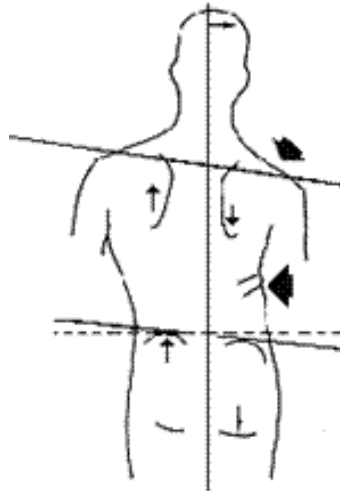
Le scoliosi funzionali statiche sono legate per lo più a differenze di lunghezza degli arti inferiori. Il bacino, in questo caso, si inclina dalla parte dell'arto più corto determinando la deviazione della colonna (Fig. 17).

Per questo motivo, la prima cosa da evidenziare durante l'esame clinico è l'orizzontalità del bacino. A questo scopo si rileva la posizione delle spine iliache antero-posteriori (SIAS), che devono trovarsi allo stesso livello. In caso di slivellamento, per la presenza di una dismetria degli arti inferiori, si provvederà a porre sotto il piede dell'arto più corto uno spessore tale sufficiente a riallineare le SIAS.



**Figura 17:** A sinistra inclinazione del bacino per dismetria di un arto e conseguente deviazione del rachide, a destra correzione della dismetria e raddrizzamento delle curve.

Si osserveranno quindi eventuali asimmetrie delle spalle, delle scapole, delle mammelle, delle creste iliache e dei cosiddetti triangoli della taglia, cioè degli spazi delimitati dal profilo mediale dell'arto superiore e dal profilo laterale del torace e del fianco di entrambi i lati (Fig. 18).



**Figura 18:** Segni esterni di una scoliosi.

Il trattamento delle scoliosi funzionali è semplice e consiste nel correggere eventuali dismetrie degli arti inferiori con opportuni rialzi da porre nelle calzature.

Nelle scoliosi con angolo di curvatura oltre i 20-25° è indispensabile procedere alla correzione della deformità. Dopo aver posto il paziente in trazione bipolare a letto per circa 10 giorni, si confeziona un corsetto gessato utilizzando speciali lettini (di Risser, di Cotrel, ecc.) che consentono di effettuare, durante la confezione del gesso, manovre di trazione, derotazione e deflessione per la correzione delle curve scoliotiche (Fig. 19 e 20).



**Figura 19:** Letto di Cotrel per la confezione del corsetto gessato correttivo.



**Figura 20:** Corsetto gessato correttivo.

Successivamente, o in alternativa ai corsetti gessati, possono essere utilizzati particolari corsetti ortopedici di cuoio o di plastica e metallo. Tra i più usati è il corsetto di Milwaukee, che trova indicazione soprattutto nelle scoliosi dorsali, cervico-dorsali e dorso-lombari, e che è costituito da una porzione pelvica da cui si innalzano tre aste metalliche, regolabili in altezza, che terminano con un appoggio occipitale posteriormente e ioideo anteriormente. Alcune pelote possono esercitare opportune spinte sui gibbi costali (Fig. 21).

Il corsetto Lionese trova indicazione nelle scoliosi dorso-lombari e lombari ed è molto efficace nella correzione dei gibbi costali (Fig. 22).

Nelle gravi scoliosi evolutive, con angolo di curvatura superiore ai 50-55°, è indicata la correzione chirurgica. Questa è preceduta da un trattamento ortopedico attuato con metodiche volte a migliorare il più possibile la deformità.



**Figura 21:** Corsetto di Milwaukee.



**Figura 22:** Corsetto Lionese.

## 2.2.5 Metatarsalgia

METATARSALGIA	
Soggetto	Arto patologico
CAGE	dx-sx
HAGI	sx
PIDI	sx
POGI	sx

**Tabella 6:** Soggetti affetti da metatarsalgia.

In 4 su 11 soggetti analizzati (Tab. 6), la forma antalgica relativa al piede è la metatarsalgia.

La metatarsalgia è uno stato doloroso acuto o cronico localizzato nella zona dell'avampiede, in corrispondenza delle teste metatarsali provocata dalla compressione del nervo plantare digitale o da problemi di sovraccarico.

Tra le principali cause dell'insorgenza di metatarsalgia, c'è quella prodotta da un'alterazione della normale meccanica dell'avampiede, ma ciò può avvenire anche in situazioni in cui non è riscontrabile alcuna alterazione meccanica.

Le metatarsalgie possono essere classificate in base alle cause che le generano:

- biomeccaniche,
- secondarie a malattie.

Le metatarsalgie biomeccaniche sono dovute ad alterazioni di allineamento sul piano frontale e sagittale per difetti di forma del piede, per differenza di lunghezza tra i metatarsi o per inclinazioni, che portano in generale a condizioni di instabilità che si protraggono nel tempo. In queste situazioni, le teste metatarsali sono sottoposte oltre che a forze di compressione, anche a forze di torsione e di taglio, che provocano una sofferenza dei tessuti molli sottostanti durante la fase di appoggio e quindi dolore. Le modificazioni biomeccaniche possono essere congenite, post-traumatiche, post-chirurgiche o date da alterazioni neuromuscolari, capsulolegamentose, osteocondrali.

Tra le patologie locali che possono essere responsabili di metatarsalgia ci sono tumori, osteiti, artriti, borsiti, verruche. Svariate sono inoltre le patologie neurologiche, vascolari, reumatiche e metaboliche che possono manifestarsi anche con metatarsalgia.

In generale, questo dolore genera l'attuazione di meccanismi di compenso che cercano di migliorare gli effetti antalgici, alterando l'appoggio del piede. L'obiettivo del trattamento è di modificare l'appoggio, tramite ad esempio l'utilizzo di ortesi plantari che, se ben concepite, svolgono una funzione ammortizzante, aumentando la superficie di carico del piede e creando zone di scarico nei punti più dolorosi.

## 2.2.6 Gonalgia

GONALGIA	
Soggetto	Arto patologico
ANFA	dx
BAWI	dx
CIMO	sx
COPA	dx-sx
DISA	dx
GEAD	dx-sx
HAGI	dx
PIDI	dx-sx

**Tabella 7:** Soggetti affetti da gonalgia.

8 su 11 soggetti del campione analizzato riferivano gonalgia a uno o a entrambi gli arti (Tab. 7).

La gonalgia, ovvero il dolore al ginocchio è un sintomo che può essere provocato da svariate cause: può trattarsi di un dolore conseguente a un trauma distorsivo (accompagnato da lesioni a legamenti o al menisco), piuttosto che di un problema di artrosi del ginocchio, può essere conseguenza di un'inflammatione del tendine rotuleo (ginocchio del saltatore), possono esservi condizioni di tipo artritico (artrite reumatoide, gotta), patologie a carico della cartilagine della rotula (condropatia rotulea, nota anche come ginocchio del corridore) o una borsite (il ginocchio della lavandaia).

In caso di una distorsione al ginocchio può verificarsi un danno, che può arrivare fino alla rottura, di uno o più dei legamenti, cioè le formazioni di tessuto connettivo fibroso che connettono la tibia al femore e che garantiscono la stabilità dall'articolazione (legamenti collaterali e legamenti crociati). In questi casi il ginocchio è gonfio, il dolore è intenso e viene peggiorato dal carico e dal movimento dell'articolazione che, in presenza di rottura di un legamento, avrà una mobilità inusuale.

Un trauma può provocare anche una lesione a uno dei due menischi, gli anelli cartilaginei interposti fra femore e tibia. In caso di lesione, oltre al dolore e al gonfiore, possono essere presenti altri sintomi. Se la rottura del menisco è “a manico di secchio” può accadere che un lembo del menisco muovendosi nell'articolazione vada ad incastrarsi al suo interno bloccandola; un altro sintomo della presenza di una lesione al menisco è l'improvviso cedimento del ginocchio, per esempio mentre si sta scendendo le scale.

Talvolta i traumi responsabili del dolore al ginocchio non sono acuti. È il caso delle tendinite del rotuleo in cui l'infiammazione è in genere dovuta a sovraccarico funzionale. Si tratta di un disturbo comune soprattutto negli atleti che effettuano molti salti (giocatori di pallacanestro, pallavolo, ma anche podisti) e che si presenta con dolore e gonfiore nella parte anteriore del ginocchio subito sotto la rotula. Il dolore peggiora quando si sollecita il tendine con salti, corsa e così via.

In altri casi traumi ripetuti possono determinare una borsite, l'infiammazione cioè di quella sorta di sacchetto contenente normalmente solo un velo di liquido e che ha la funzione di ridurre l'attrito fra ossa, muscoli e tendini. In presenza di una borsite (il ginocchio della lavandaia) la zona appare gonfia, calda e dolente, può esserci sensazione di rigidità quando si piega il ginocchio e ovviamente il dolore peggiora se si sta inginocchiati.

È invece più tipica delle giovani e degli atleti dediti alla corsa la condropatia rotulea, detta anche "dolore anteriore del ginocchio". Il sintomo specifico è il dolore nella parte anteriore del ginocchio che tipicamente peggiora quando si sta a lungo seduti con le gambe piegate a 90 gradi (il cosiddetto segno del cinema) o quando si fanno percorsi in discesa.

La presenza di artrosi al ginocchio si manifesta con dolore di varia intensità, eventualmente accompagnato da tumefazione e che peggiora quando si sta in piedi o si cammina. Soprattutto al mattino, al risveglio può esserci anche una certa rigidità dell'articolazione, che in genere si risolve nell'arco di alcuni minuti.

Ben più gravi sono i sintomi dell'artrite reumatoide: l'articolazione colpita (la malattia di solito interessa contemporaneamente le due ginocchia) è calda, dolente, tumefatta; l'artrite reumatoide colpisce anche altre articolazioni (tipicamente quelle delle mani) e non solo il ginocchio. Tipica è la rigidità mattutina che dura a lungo, in genere più di mezz'ora. A lungo andare inoltre le articolazioni vanno incontro a deformità.

## 2.2.7 Lombalgia

LOMBALGIA	
Soggetti	ANFA
	BAWI
	CAGE
	CIMO
	COBA
	COPA
	DISA
	GEAD
	PIDI
	POGI

**Tabella 8:** *Soggetti affetti da lombalgia.*

Il mal di schiena rappresenta una delle forme algiche più frequenti e nel nostro campione era riferito da 10 soggetti su 11 (Tab. 8).

Oltre l'80% degli esseri umani andrebbe incontro, nell'arco della vita, ad almeno un episodio doloroso lombare. Questa particolare fragilità del rachide lombare può forse imputarsi al fatto che l'uomo ha acquistato la stazione eretta, quindi una diversa situazione posturale e cinetica della colonna vertebrale, in epoca relativamente recente (in termini di evoluzione) e pertanto non vi si è ancora perfettamente adattato.

La lombalgia, che è dunque un dolore riferito in sede lombare, non è una malattia, ma un sintomo di svariate patologie e come tale richiede un accurato approfondimento diagnostico non limitato al solo rachide lombare.

Le lombalgie possono essere classificate in:

- organiche, dovute ad alterazioni vertebrali congenite (sacralizzazione della V lombare, schisi, spondilo lisi, ecc.) o acquisite (artrosi, discopatie, processi infiammatori e neoplasici, osteoporosi, traumi, ecc.);
- riflesse, nelle quali il dolore riferito alla zona lombare non dipende dalle strutture osteoarticolari ma è unicamente la proiezione di altre affezioni interessanti organi ipocondriaci e addominali (reni, fegato, pancreas, ecc.);
- funzionali, che si verificano in assenza di alterazioni organiche, a causa di squilibri funzionali del rachide lombare.

In generale, più comuni disturbi funzionali riguardano la funzione posturale del rachide lombare per alterazioni dell'angolo lombo-sacrale e la funzione cinetica per alterazione del cosiddetto ritmo lombo-pelvico. Il ritmo lombo-pelvico può essere così esemplificato: durante la flessione del tronco in avanti e il ritorno in posizione eretta, la fisiologica lordosi lombare tende ad invertirsi e, contemporaneamente, il bacino ruota sulle articolazioni coxo-femorali. L'armonico e sinergico verificarsi dei due eventi prende nome appunto di ritmo lombo-pelvico (Fig. 23). Ogni alterazione di questo sinergismo, per rigidità lombare o per alterazione delle articolazioni coxo-femorali, può determinare stress eccessivi sulle strutture osteoarticolari (legamenti longitudinali, articolazioni posteriori, ecc.) con conseguente comparsa di dolore.

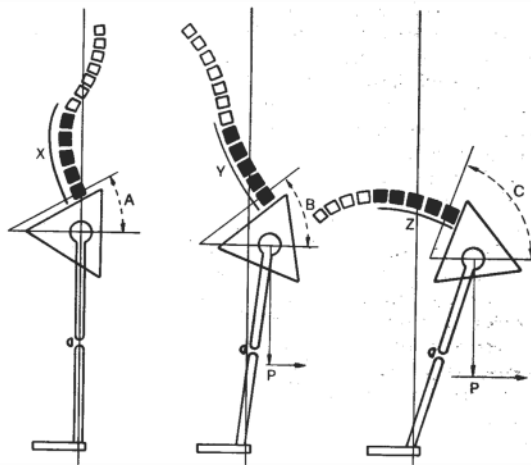


Figura 23: Ritmo lombo-pelvico.

Nelle forme funzionali non si evidenziano alterazioni strutturali, ma una riduzione della lordosi per contrattura muscolare antalgica.

## 2.3 Quadro generale dei soggetti e delle patologie

Volendo fare un quadro generale della casistica descritta in questo capitolo, gli 11 soggetti in esame si presentano con le seguenti problematiche (descritte in dettaglio in Appendice):

- ANFA:
  1. Supinazione anteriore > SX;
  2. Ginocchio DX valgo di 5,3° e ginocchio SX varo di 3°;
  3. Ipometria DX di 1,7 cm;



4. Scoliosi dorso-lombare;
  5. Gonalgia ginocchio DX;
  6. Lombalgia.
- **BAWI:**
    1. Piede piatto supinato DX;
    2. Pronazione mediale DX;
    3. Ipometria DX di 3 cm;
    4. Gonalgia ginocchio DX;
    5. Lombalgia comparto DX.
  
  - **CAGE:**
    1. Piede pronato;
    2. Ipometria SX di 2,6 cm;
    3. Scoliosi dorsale DX convessa e lombare SX convessa;
    4. Formazioni ipercheratosiche > DX sintomatiche;
    5. Lombalgia comparto DX.
  
  - **CIMO:**
    1. Pronazione anteriore bilaterale;
    2. Scoliosi lombare DX convessa;
    3. Gonalgia ginocchio SX;
    4. Lombalgia con riferimento arto inferiore SX.
  
  - **COBA:**
    1. Piede cavo;
    2. Supinazione del piede > SX;
    3. Ginocchio valgo bilateralmente;
    4. Scoliosi lombare SX convessa;
    5. Lombalgia con riferimento arto inferiore SX.
  
  - **COPA:**
    1. Pronazione plantare bilaterale;

2. Ginocchio valgo bilaterale;
  3. Ipometria apparente SX di 1 cm;
  4. Gonalgia bilaterale;
  5. Lombalgia.
- **DISA:**
1. Appoggio plantare supinato > DX;
  2. Gonalgia ginocchio DX;
  3. Lombalgia.
- **GEAD:**
1. Piede piatto anteriore;
  2. Ipometria DX;
  3. Gonalgia bilaterale;
  4. Lombalgia.
- **HAGI:**
1. Ipometria SX di 1,8 cm;
  2. Scoliosi lombare SX convessa e dorsale DX convessa;
  3. Gonalgia ginocchio DX;
  4. Metatarsalgia ed ipercheratosi SX.
- **PIDI:**
1. Piede piatto bilaterale.
  2. Retropiede valgo in pronazione SX > DX;
  3. Supinazione anteriore DX > SX;
  4. Ginocchio varo bilateralmente;
  5. Scoliosi lombare SX convessa e dorsale DX convessa;
  6. Ipercheratosi II raggio metatarsale piede SX;
  7. Gonalgia bilaterale;
  8. Lombalgia con riferimento arto inferiore SX.

▪ **POGI:**

1. Piede cavo SX;
2. Supinazione DX;
3. Ipometria apparente DX;
4. Ginocchio varo bilateralmente;
5. Scoliosi lombare DX convessa;
6. Metatarsalgia SX;
7. Lombalgia.

Per una lettura più immediata della situazione clinica di ogni soggetto si può far riferimento alla Tabella 9.

Soggetto	Piede piatto	Piede cavo	Piede pronato	Piede supinato	Ginocchio valgo	Ginocchio varo	Ipometria	Scoliosi	Metatarsalgia	Gonalgia	Lombalgia
ANFA				X	X	X	X	X		X	X
BAWI	X		X	X			X			X	X
CAGE			X				X	X	X		X
CIMO			X					X		X	X
COBA		X		X	X			X			X
COPA			X		X		X			X	X
DISA				X						X	X
GEAD	X						X			X	X
HAGI							X	X	X	X	
PIDI	X		X	X		X		X	X	X	X
POGI		X		X		X	X	X	X		X

**Tabella 9:** Rappresentazione tabellare del quadro generale soggetti e patologie.

## **3.1 Introduzione**

Per la caratterizzazione e la valutazione del movimento dei soggetti analizzati nel presente lavoro, sono state utilizzate le metodiche e le strumentazioni dell'analisi del cammino. Nello specifico, i soggetti analizzati hanno preventivamente effettuato degli esami baropodometrici, oltre a radiografie, TAC e risonanze magnetiche, per diagnosticare patologie relative alla colonna vertebrale e agli arti inferiori, ma si è vista la necessità di effettuare un'analisi della postura e del cammino tramite la strumentazione presente nel laboratorio di Biomeccanica del Movimento e Controllo Motorio del Dipartimento di Bioingegneria del Politecnico di Milano. Infatti, tale metodica permette di valutare quantitativamente e in modo tridimensionale le informazioni relative alla cinematica e alla dinamica del cammino.

In questo capitolo verranno illustrate le metodologie impiegate per l'analisi del cammino, inoltre saranno descritti i diversi approcci adottati per analizzare i possibili legami tra le differenti patologie riscontrate.

## **3.2 Acquisizione dei dati**

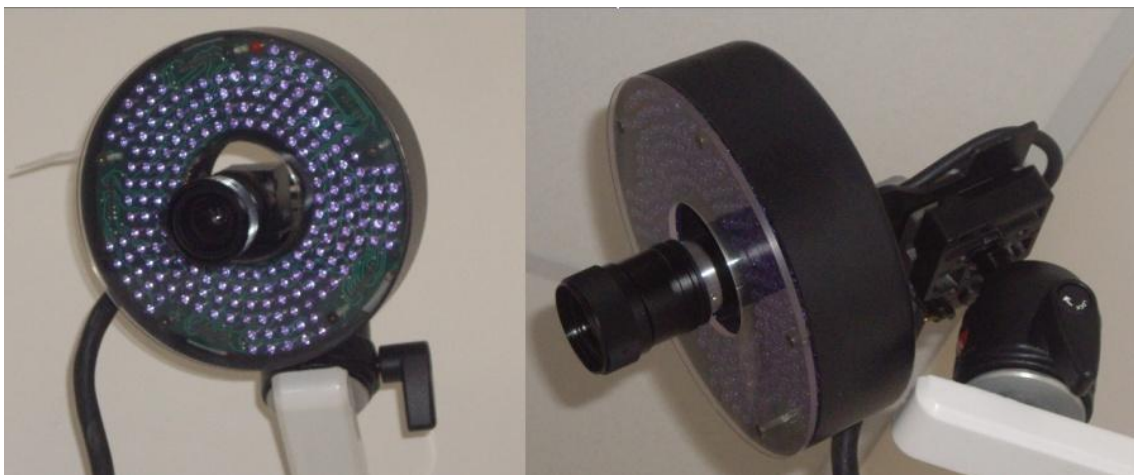
### ***3.2.1 Sistema optoelettronico***

L'analisi del cammino è fondata su un'indagine cinematica tridimensionale e non invasiva, per la quale vengono spesso utilizzati sistemi optoelettronici. Questo tipo di strumentazione si basa sull'utilizzo di marker che vengono apposti sul soggetto in particolari punti di repere. I marker sono costituiti da supporti di plastica di forma sferica o emisferica, ricoperti con materiale catarinfrangente, che riflettono la luce proveniente dai led emettitori coassiali con le telecamere. Le sorgenti di luce emettono nella banda dell'infrarosso che, non essendo visibile dall'occhio umano, non interferisce con la spontaneità del gesto da analizzare. Inoltre, i led sono disposti in corone circolari attorno all'obiettivo delle telecamere che, invece, hanno la funzione di rilevare la luce riflessa dai

marker, per determinarne le coordinate tridimensionali. Per questa misura è necessario che ogni marker sia visto da almeno due telecamere, in modo da soddisfare le condizioni di ridondanza e disparità, necessarie per la ricostruzione, istante per istante, della posizione nello spazio di ogni marker. Sulla base di un modello prestabilito del soggetto da analizzare, i marker vengono riconosciuti e classificati e, dopo aver corretto eventuali errori di distorsione tramite procedure di calibrazione, il sistema ricostruisce le traiettorie dei punti e consente di estrarre parametri come velocità e variazioni angolari. Per una corretta ricostruzione tridimensionale e per una buona taratura del sistema è, quindi, fondamentale una procedura di calibrazione all'inizio di una serie omogenea di acquisizioni cinematiche, che prevede la determinazione dello spazio di lavoro, del sistema di riferimento e dei parametri interni ed esterni relativi alle telecamere e alla piattaforma dinamometrica.

Il presente lavoro è stato svolto presso il laboratorio di Biomeccanica del Movimento e Controllo Motorio, in cui è stato utilizzato un sistema optoelettronico SMART-e (BTS, Milano Italia). Il sistema è costituito da 8 telecamere (Fig. 24) a sensore matriciale indirizzabile CCD, con illuminatori costituiti da LED in banda infrarossa disposti su corone circolari coassiali con l'asse ottico della telecamera.

L'illuminazione è di tipo stroboscopico e sincronizzata con i quadri televisivi ad una frequenza di acquisizione di 120 Hz.



**Figura 24:** Esempio di telecamera a sensore matriciale indirizzabile CCD, con 4 corone di led infrarossi.

Nel sistema sono presenti 4 hub (Fig. 25), interfacciati col PC, in cui vengono convogliati e sincronizzati i segnali provenienti dalle telecamere e dalla piattaforma

dinamometrica. Ogni hub collega fino a 3 telecamere e consente l'interfacciamento con altri dispositivi, come la piattaforma di forza.



Figura 25: Hub.

Per le acquisizioni sono stati utilizzati 31 marker passivi di forma sferica, di 1 cm di diametro, posti su punti di repere anatomici, secondo il protocollo Saflo esteso.

Il sistema SMART prevede l'acquisizione, il monitoraggio, la pre-elaborazione e l'elaborazione dei dati, dunque include i software necessari per le diverse fasi:

- Diagnostic: per rilevare lo stato di connessione delle periferiche di acquisizione del sistema.
- Capture: permette la visualizzazione real-time e la cattura delle immagini acquisite, in base ai dati di taratura della telecamera. Inoltre, genera delle sequenze di dati 2D, acquisiti dalle telecamere.
- Tracker: a partire dalle sequenze generate da Smart-Capture, permette di eseguire la ricostruzione tridimensionale di più marker in movimento, sulla base del modello definito, generando una serie di traiettorie 3D.

- Analyzer: permette di elaborare i dati acquisiti dal sistema. Dopo la creazione di un adeguato protocollo, è possibile estrarre le variabili cinematiche e dinamiche utili per generare dei report.
- Viewer: per visualizzare e riprodurre le sequenze di dati 3D acquisiti.

### ***3.2.2 Piattaforma dinamometrica***

Oltre al sistema optoelettronico, per acquisire dati riguardanti quella parte della meccanica che studia il movimento dei corpi dal punto di vista delle cause che lo hanno prodotto, si utilizza la piattaforma dinamometrica. I dati sono ricavati, per esempio nel caso dell'analisi del cammino, dalla rilevazione delle reazioni al terreno durante la fase di appoggio del piede

La piattaforma utilizzata per le rilevazioni è una piattaforma KISTLER portatile (tipo 9286AA). Le dimensioni sono 600x400 mm, l'altezza complessiva è di 35 mm e il peso è di circa 18 kg. La piattaforma (Fig. 26) è inserita in uno spazio rettangolare ricavato nel pavimento del laboratorio, in modo da risultare allo stesso livello della superficie del camminatoio, per rendere il più spontaneo possibile il gesto da analizzare, nascondendola alla vista del soggetto. Per misurare le componenti nelle tre dimensioni della forza di reazione al terreno, su ogni vertice della piattaforma ci sono 3 sensori piezoelettrici.



**Figura 26:** Piattaforma dinamometrica KISTLER portatile.

### ***3.2.3 Impostazione del laboratorio***

L'analisi del cammino necessita di alcuni accorgimenti che riguardano il laboratorio, in particolar modo la disposizione delle telecamere per la corretta definizione del volume

di lavoro. Il numero di telecamere e la loro posizione si sceglie considerando che è necessario che ogni marker sia visibile da almeno due telecamere, per garantire una fedele ricostruzione 3D. Per protocolli con più marker, bisogna aumentare il numero di telecamere, perciò nel caso del presente lavoro sono state utilizzate 8 telecamere, disposte in modo da coprire tutte le possibili posizioni dei marker. Il volume di acquisizione (4,6 m x 2,3 m x 3,6 m) è stato definito in modo da garantire la corretta visualizzazione dei marker durante un ciclo completo del passo e per consentire al paziente di camminare già a regime una volta iniziata l'acquisizione dei dati.

### ***3.2.4 Calibrazione***

Per una corretta ricostruzione 3D delle coordinate del marker, è indispensabile effettuare la procedura di calibrazione prima di ogni serie di acquisizioni, perché bisogna avere ben chiaro il volume di lavoro e disporre le telecamere in modo da permettere il riconoscimento e la messa a fuoco di tutti i marker durante le acquisizioni. Inoltre, la calibrazione genera dei dati che descrivono la posizione delle telecamere e il grado di distorsione delle ottiche, tramite un processo che prevede tre acquisizioni successive:

- la prima fase, chiamata Axis nel software Smart-Capture, prevede l'acquisizione di un marker che definisce l'origine del sistema di riferimento del laboratorio;
- la seconda fase permette di definire il volume di lavoro, infatti si acquisisce il movimento di un'asta in plastica su cui sono posizionati 3 marker a distanza nota;
- la terza fase consiste nell'acquisizione di 9 marker disposti su 3 aste in plastica che definiscono la terna cartesiana del sistema di riferimento del laboratorio.

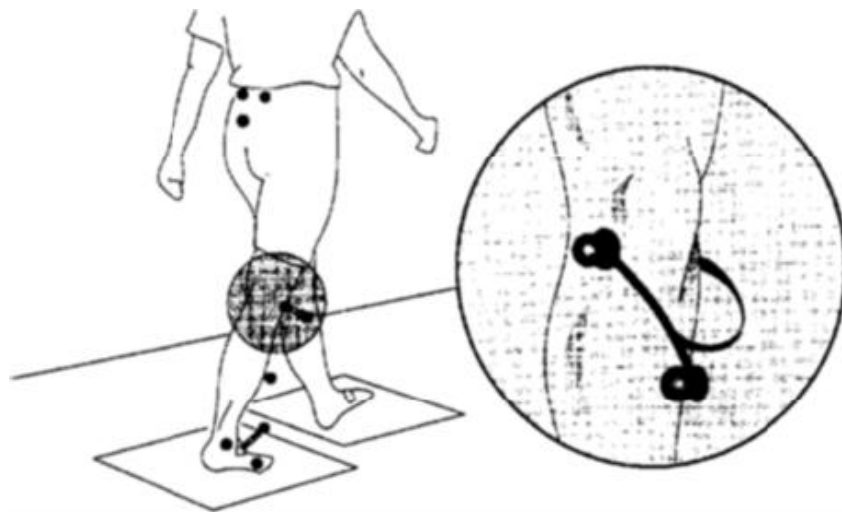
### ***3.2.5 Protocollo Saflo esteso***

Il protocollo Saflo è un protocollo cosiddetto anatomico, in quanto prevede il posizionamento dei marker in punti di repere sulla cute del soggetto. Prima di effettuare le prove, vengono rilevate delle specifiche misure antropometriche, necessarie per la ricostruzione tridimensionale del modello del corpo del soggetto. Successivamente si posizionano i marker secondo quanto specificato nel protocollo e viene richiesto al soggetto di effettuare le prove di standing e di cammino.



Le *misure antropometriche* rilevate sono, per ogni arto: lunghezza della coscia, lunghezza della gamba, lunghezza del piede, distanza tra i condili laterale e mediale del ginocchio, distanza tra i condili laterale e mediale della caviglia, distanza tra il primo e il quinto metatarso, altezza del malleolo, arretramento del tallone (definito come la distanza tra la proiezione del malleolo laterale sul piano orizzontale di riferimento e il punto in cui il tallone tocca lo stesso piano), altezza del bacino (definita come la distanza tra la retta che congiunge le due spine iliache posteriori superiori e il piano orizzontale sul quale il soggetto è seduto), larghezza del bacino (definita come la distanza tra le due spine iliache anteriori superiori), S.I.P.S. (distanza tra le spine iliache posteriori e le creste iliache superiori).

Per il presente lavoro è stato utilizzato il protocollo Saflo esteso che, oltre ai marker sulla cute, prevede il posizionamento di marker sull'estremità di barre rigide in 3 punti di ogni arto inferiore, come illustrato nella figura 27, per una migliore identificazione dei movimenti torsionali dei segmenti analizzati.



**Figura 27:** Marker esterni, posizionati su barre metalliche.

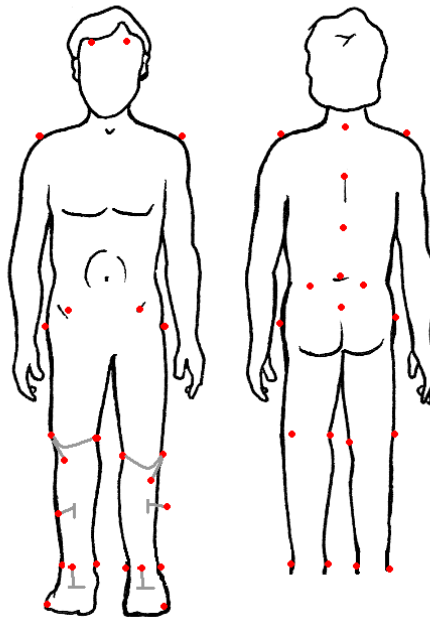
In particolare i 31 marker vengono posizionati sui seguenti punti di repere:

Front Right	2 marker posti sulla fronte del soggetto.
Front Left	
C7	Marker posto in corrispondenza della settima vertebra cervicale.
Spalla Right	Marker posti in corrispondenza dell'acromion.
Spalla Left	
MaxCifosi	Punto che rappresenta il massimo della curva di cifosi.
T10	Decima vertebra toracica.
MaxLordosis	Punto in corrispondenza della massima lordosi.
ASIS Right	2 marker posti sulle creste iliache anteriori superiori.
ASIS Left	
SIPS Right	2 marker in corrispondenza delle spine iliache posteriori superiori.
SIPS Left	
trocantereRight	Marker posti sul grande trocantere destro e sul grande trocantere sinistro.
trocantereLeft	
SACRO	Marker in corrispondenza del sacro.
KNEE Right	Marker posti sui condili laterali delle ginocchia.
KNEE Left	
KNEE med Right	Marker sui condili mediali delle ginocchia.
KNEE med Left	
ANKLE Right	Condili laterali delle caviglie.
ANKLE Left	
ANKLE med Right	Condili mediali delle caviglie.
ANKLE med Left	
I META Right	Marker posti in corrispondenza del primo metatarso.
I META Left	
V META Right	Marker in corrispondenza del quinto metatarso.
V META Left	
EXT1 Right	Marker esterni, posti sull'estremità di una barra rigida posta tra il condilo femorale laterale e mediale.
EXT1 Left	

EXT2 Right	Marker esterni, posti sull'estremità di una barra rigida posizionata sulla parte anteriore della tibia.
EXT2 Left	
EXT3 Right	Marker esterni, posti sull'estremità di una barra rigida in corrispondenza dell'articolazione tarso-metatarsale.
EXT3 Left	

**Tabella 10:** Nomi dei marker utilizzati nel modello e relativi punti di repere su cui vengono posizionati.

La figura 28 mostra un esempio del posizionamento dei marker sul corpo del soggetto.



**Figura 28:** Posizionamento dei marker sul soggetto.

### 3.2.6 Prove acquisite

Per ogni soggetto sono state effettuate due tipi di prove: standing e cammino a piedi nudi.

Durante le prove di standing (posizione ortostatica indifferente), della durata di pochi secondi, il sistema rilevava la reazione al terreno e acquisiva la posizione tridimensionale di tutti i marker. Queste prove servivano per la definizione degli angoli di offset delle articolazioni, diversi per ogni soggetto, e per identificare anomalie durante il mantenimento della postura eretta.

Successivamente, durante la prova di cammino, il sistema rilevava la posizione nel tempo dei diversi marker disposti sul corpo del soggetto, arrivando alla generazione dei file contenenti le informazioni sulle coordinate tridimensionali dei marker. In ogni sessione venivano effettuate più prove di cammino (tipicamente 5 per ogni piede in appoggio sulla piattaforma), per avere una maggiore ripetibilità delle misure.

Per quanto riguarda 8 degli 11 soggetti presi in esame, si effettuavano prove di standing e di cammino sia a piedi nudi che con l'utilizzo di scarpe con plantari. Durante questa fase dell'acquisizione è emersa l'impossibilità di posizionare i marker su piede e caviglia in maniera ripetibile per gli 8 soggetti, per l'eterogeneità dei modelli di calzature indossati dagli stessi. Nelle fasi di elaborazione dei dati si è cercato di tener conto di questa variabilità di partenza.

### **3.3 Elaborazione e analisi dei dati**

#### ***3.3.1 Fase preliminare***

Dopo l'acquisizione delle prove tramite SmartCapture, si procede alla ricostruzione tridimensionale delle coordinate dei marker, tramite SmartTracker. Il modello 3D dei segmenti corporei, definito secondo il protocollo Saflo, è stato modificato in modo da descrivere la corretta disposizione dei 31 marker utilizzati sullo stick diagram, che è una modellizzazione del corpo del soggetto tramite segmenti rigidi. Questo modello è utilizzato per il riconoscimento e l'assegnazione dei marker.

Una volta terminata la fase di tracking, l'elaborazione dei dati inizia con la visualizzazione dello stick diagram per identificare:

- foot contact, cioè l'appoggio del piede sulla piattaforma (inizio della fase di stance);
- opposite foot off: distacco del piede controlaterale e inizio della fase di swing per lo stesso;
- opposite foot contact: appoggio del piede controlaterale, con cui termina la fase di swing;
- foot off: distacco del piede dalla piattaforma, con cui termina la fase di stance e inizia lo swing.

In questo modo si ottengono i dati necessari per la prima fase dell'elaborazione, cioè la definizione dei parametri spazio-temporali relativi ad una prova di cammino, quali:

durata della fase di appoggio e di volo, lunghezza del passo, cadenza, velocità, etc. Nel caso del presente lavoro sono stati calcolati:

- stride time: durata del ciclo del passo;
- stance time: durata della fase di appoggio;
- swing time: durata della fase di volo;
- fase di double support: durata della fase del doppio appoggio;
- cadenza: numero di cicli del passo al minuto.

Tramite questo calcolo, effettuato utilizzando Microsoft Office Excel, è stato possibile scegliere le prove caratterizzate da maggiore ripetibilità, requisito necessario per le elaborazioni successive. Il criterio di scelta delle prove da analizzare si è basato sulla valutazione della media e della deviazione standard dei valori relativi ai parametri spazio-temporali delle prove dello stesso soggetto, classificate in base al piede in appoggio sulla piattaforma di forza. Questa scelta è stata effettuata per evitare di inserire nell'elaborazione delle prove anomale, in cui il soggetto non esegue il movimento in modo naturale o durante le quali si sono verificati degli episodi compromettenti per il prosieguo del lavoro.

### ***3.3.2 Elaborazione tramite MatLab<sup>®</sup>***

Per ottenere i file contenenti la corretta disposizione dei marker secondo l'ordine definito dal modello, sono state effettuate elaborazioni standard dei dati provenienti dalle telecamere tramite SmartAnalyser.

L'analisi del cammino, in generale, si basa sullo studio di alcune variabili di cinematica, riguardanti la posizione dei segmenti anatomici e le variazioni degli angoli articolari. Inoltre si avvale dello studio delle variabili di dinamica, cioè della descrizione dei momenti e delle forze che agiscono sui diversi segmenti del corpo durante il movimento.

Il calcolo di queste variabili di cinematica e dinamica è stato effettuato utilizzando in primo luogo i parametri antropometrici dei singoli soggetti e i dati relativi alle prove scelte, quali gli istanti che definiscono il ciclo del passo e l'indicazione di quale piede durante la prova ha toccato la piattaforma di forza. In secondo luogo, sono stati generati i file di tracking, tramite elaborazioni con SmartAnalyser, contenenti le acquisizioni delle prove, dai quali è stato possibile estrarre le informazioni relative alle fasi temporali del

movimento e le descrizioni dei centri articolari, utili per la generazione dell'andamento delle variabili cinematiche e dinamiche. Le elaborazioni sono state effettuate tramite i programmi STIMIS e NRIORD, per permettere una visualizzazione interattiva dello stick diagram, e tramite diversi programmi sviluppati in ambiente Matlab<sup>®</sup>, che nel caso specifico è stato utilizzato per la sua versatilità e flessibilità rispetto all'elaborazione standard tramite il sistema Smart.

Per la definizione delle forze e dei momenti sono necessarie le informazioni provenienti dalla piattaforma di forza, per cui partendo sempre dai file contenenti le acquisizioni, sono stati estratti i dati sui centri di pressione e sulle forze in gioco durante l'appoggio del piede.

Le variabili di cinematica e dinamica scelte sono state calcolate raccogliendo tutte le informazioni utili di cui sopra e successivamente è stato possibile costruire i grafici rappresentativi dell'andamento nel tempo di tali variabili. Per la costruzione dei grafici, i file relativi ai diversi soggetti, per le prove a piedi nudi e con scarpe, sono stati raggruppati in archivi. La rappresentazione dell'andamento viene effettuata confrontando due archivi con un terzo; nello specifico si utilizza l'andamento della variabile per i due arti, confrontato con l'andamento nel tempo della stessa per soggetti sani. L'importanza di una scelta accurata delle prove da analizzare si evidenzia in questi archivi, poiché nella costruzione dei grafici suddetti viene effettuata una media tra i valori che la variabile assume. Per ogni istante di tempo vengono rappresentate la media e la deviazione standard. I valori di riferimento dei soggetti sani sono rappresentati anch'essi con media e deviazione standard e sono stati presi tenendo conto del sesso e dell'intervallo di età dei soggetti analizzati.

In questo contesto si inserisce la fase finale dell'elaborazione dei dati, effettuata grazie alla fase di reporting dei soggetti. Infatti, raggruppando tutti i grafici degli andamenti delle variabili nel tempo, relativi ad un soggetto, in un report è stato possibile analizzarne le differenze rispetto ai valori di normalità, ad esempio per comprendere le cause di particolari atteggiamenti delle articolazioni, per fare confronti con altri soggetti, per scegliere le caratteristiche da prendere in esame, etc.

### 3.3.3 Analisi cinematica e dinamica

L'elaborazione dei dati genera l'andamento delle variabili cinematiche e dinamiche nel tempo. L'analisi cinematica si utilizza per descrivere come un segmento è orientato nello spazio rispetto ad un altro, tramite il calcolo degli angoli delle articolazioni nei tre piani dello spazio: sagittale, frontale e trasversale. Nella tabella 11 sono inserite le definizioni delle variabili prese in esame per la rappresentazione del movimento di ciascuna articolazione. I movimenti nel piano sagittale sono quelli di flessione ed estensione, nel piano frontale, invece, i movimenti sono di adduzione e abduzione, mentre nel piano trasversale sono di intrarotazione ed extrarotazione.

Angoli assoluti sagittali	Antiversione e retroversione della pelvi rispetto all'asse verticale
	Avanzamento e arretramento del ginocchio rispetto all'asse verticale passante per il centro dell'anca
	Avanzamento e arretramento della caviglia rispetto all'asse verticale passante per il centro del ginocchio
	Tip up e tip down: innalzamento o abbassamento dell'asse longitudinale del piede rispetto all'asse orizzontale passante per il centro della caviglia
Angoli relativi sagittali	Angolo di flesso-estensione dell'anca nel piano sagittale
	Angolo di flesso-estensione del ginocchio nel piano sagittale
	Angolo di dorsiflessione e plantarflessione dell'articolazione tibiotarsica nel piano sagittale
Angoli frontali (Riferimento assoluto)	Inclinazione del bacino sul lato destro o sinistro
	Abduzione-adduzione dell'anca nel piano frontale
	Inclinazione laterale della coscia
	Inclinazione laterale della gamba
Angoli trasversali	Rotazione del piano comprendente l'asse della gamba e l'asse longitudinale del piede rispetto all'asse longitudinale della gamba
	Rotazione del bacino sul piano orizzontale
	Angolo di progressione: angolo formato dall'asse longitudinale del piede con la direzione di progressione, nel piano orizzontale
Angoli relativi dell'anca (3D)	Flessione ed estensione (attorno ad un asse medio laterale passante per entrambi i centri articolari delle anche)
	Adduzione e abduzione (attorno all'asse perpendicolare all'asse di flesso-estensione e all'asse longitudinale della coscia)
	Intrarotazione ed extrarotazione (attorno all'asse longitudinale della coscia)

Angoli relativi del ginocchio (3D)	Flessione ed estensione (attorno all'asse intercondiloideo)
	Adduzione e abduzione (attorno all'asse perpendicolare all'asse di flesso-estensione e all'asse longitudinale della gamba)
	Intrarotazione ed extrarotazione (attorno all'asse longitudinale)
Angoli relativi della caviglia (3D)	Dorsiflessione e plantarflexione (attorno all'asse intermalleolare)
	Adduzione e abduzione (attorno all'asse perpendicolare all'asse di flesso-estensione e all'asse longitudinale del piede)
	Pronazione e supinazione (attorno all'asse longitudinale del piede)
Angoli di orientazione del tronco	Antiversione e retroversione, nel piano sagittale (con riferimento assoluto rispetto ad un asse verticale)
	Tendenza verso l'arto ipsilaterale o controlaterale, nel piano frontale (riferimento assoluto)
	Tendenza verso l'arto ipsilaterale o controlaterale, nel piano frontale (con riferimento all'asse trasversale del bacino)
Parametri di morfologia del tronco	Distanza tra settima vertebra cervicale (C7) e sacro (Lunghezza del tronco)
	Cifosi: angolo tra i due tratti di colonna superiore e inferiore convergenti nel punto di massima cifosi dorsale
	Lordosi : angolo tra i due tratti di colonna superiore e inferiore convergenti nel punto di massima lordosi lombare

**Tabella 11:** Variabili di interesse nell'analisi cinematica.

Le informazioni relative all'analisi dinamica integrano quelle della cinematica del movimento, poiché permettono di analizzare in che modo, a livello dell'apparato locomotore, la contrazione muscolare sviluppa forze che influenzano le singole articolazioni, determinando il controllo dei liberi movimenti articolari. In generale, grazie a forze muscolari, forze dei legamenti e dei tessuti molli, il corpo produce i momenti articolari interni, che rappresentano la risposta alle sollecitazioni date da forze esterne, che producono momenti articolari esterni. La potenza articolare è invece il prodotto tra momento articolare e velocità angolare del movimento, perciò quando la direzione del movimento coincide con la direzione del momento, si dice che l'articolazione sta generando potenza e, durante il cammino, questa generazione può essere correlata ad una contrazione concentrica. Viceversa se le direzioni sono opposte, l'articolazione sta assorbendo potenza, cioè, nel caso del cammino, può esserci una contrazione eccentrica.

Nella tabella 12 sono inserite le descrizioni delle variabili dinamiche e di seguito si riportano i tracciati del momento e della potenza relativi alle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia nei piani sagittale, frontale e trasversale.



Reazione d'appoggio	Componente verticale
	Componente orizzontale
	Componente trasversale
Momenti sagittali	Flesso-estensione dell'anca
	Flesso-estensione del ginocchio
	Dorsiflessione e plantarflexione della caviglia
Momenti frontali	Adduzione-abduzione dell'anca
	Adduzione-abduzione del ginocchio
	Supinazione e pronazione della caviglia
Potenze	Generazione/assorbimento per l'anca
	Generazione/assorbimento per il ginocchio
	Generazione/assorbimento per la caviglia

**Tabella 12:** Variabili dinamiche utilizzate.

Nel capitolo *Risultati* sono rappresentati i risultati delle elaborazioni dei dati secondo le metodiche illustrate, con particolare attenzione alle differenze tra i valori relativi al gruppo di controllo utilizzato e i valori riscontrati per i diversi soggetti.

### 3.3.4 Analisi dei dati

La parte del presente lavoro relativa all'analisi dei dati si è incentrata sulla possibilità di evidenziare tramite l'analisi del cammino particolari anomalie relative all'andamento di alcune variabili e particolari meccanismi di compenso, tali da giustificare e confermare l'effettiva compromissione degli arti inferiore e del rachide dei soggetti, da parte di più patologie contemporaneamente. Per effettuare questa analisi sono state considerate sia le informazioni provenienti dall'anamnesi e dall'esame obiettivo di ciascun soggetto, che gli andamenti delle variabili cinematiche e dinamiche dello stesso, insieme ai valori di particolari indici statistici, calcolati a partire dalle stesse variabili, tramite un programma implementato in Matlab<sup>®</sup>. Questo programma permette di calcolare quanto differiscono gli andamenti temporali delle variabili dei due arti, tra di loro e rispetto a un gruppo di controllo. Per ogni variabile analizzata viene calcolata la percentuale del ciclo del passo in cui sono presenti delle differenze statisticamente significative, secondo il test t-Student: inoltre sono estratti i picchi di massimo e di minimo, il range di valori assunti dalla variabile e lo scarto quadratico medio.

**Prima modalità di lavoro**

Dall’analisi dell’anamnesi dei soggetti per la creazione dei gruppi di confronto, è stato rilevato che i problemi più diffusi relativamente al rachide sono: lombalgia, discopatia e scoliosi; i problemi più diffusi agli arti inferiori sono: dismetria, gonalgia, frattura, piede piatto, iperpronazione del piede (tutte patologie riscontrate in almeno 3 soggetti su 11).

Tramite funzioni Matlab® sono stati creati degli archivi che contengono i grafici rappresentativi dell’andamento delle variabili cinematiche e dinamiche, in base ai quali sono stati effettuati i confronti.

Nella ricerca di caratteristiche comuni tra i soggetti, per la definizione di un pattern utile al fine di dimostrare l’esistenza di una correlazione tra patologie legate al rachide e patologie relative agli arti inferiori, è stata creata una tabella (Tab. 13) in cui sono stati riportati i principali dati di anamnesi forniti dagli esami clinici e obiettivi, relativi agli 11 soggetti analizzati.

Soggetto	Lombalgia	Discopatia	Scoliosi	Dismetria	Gonalgia	Frattura	Piede piatto	Piede pronato
ANFA	X	X	X	X	X			
BAWI	X			X	X	X	X	X
CAGE	X		X	X		X		X
CIMO	X	X	X		X			X
COBA	X	X	X					
COPA	X			X	X			X
DISA	X				X	X		
GEAD	X	X		X	X	X	X	
HAGI		X	X	X	X	X		
PIDI	X		X		X		X	X
POGI	X		X	X				

**Tabella 13:** Dati di anamnesi dei soggetti analizzati.

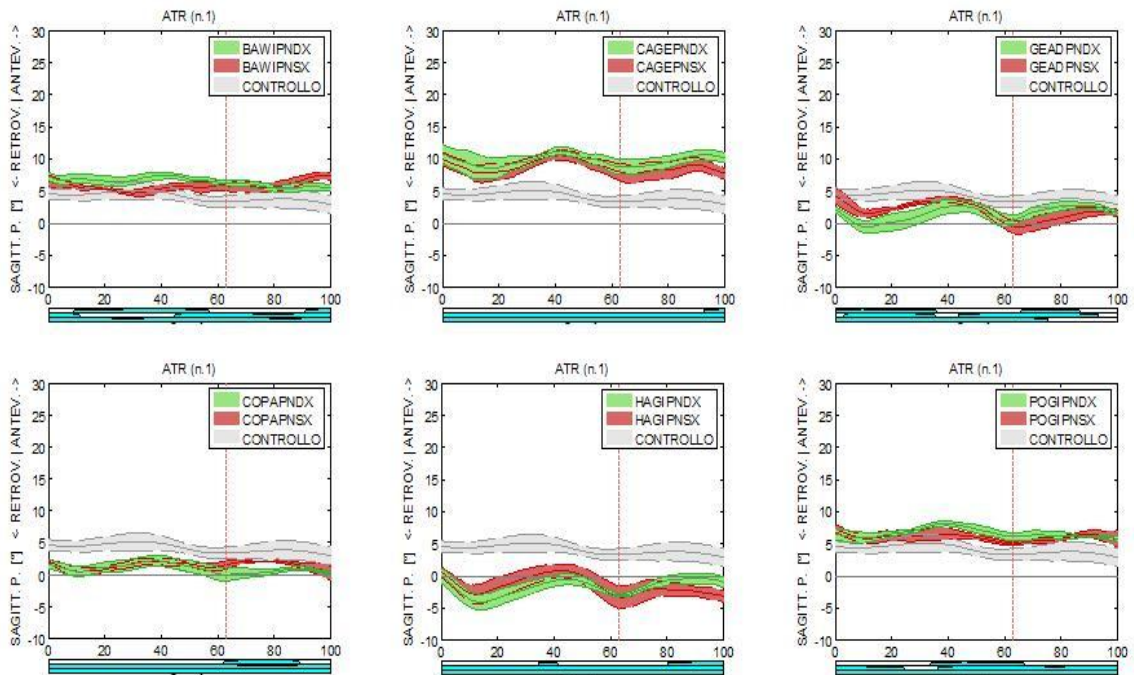
I confronti possibili sono molteplici, perciò è necessario focalizzare l’attenzione su quelli che realmente forniscono dati utili per trarre delle conclusioni plausibili. Infatti, sono state utilizzate delle funzioni che, dopo aver creato a partire da archivi di soggetti diversi, gli archivi relativi alla variabile biomeccanica selezionata, cercano le differenze tra due archivi a confronto. Un’ulteriore funzione analizza questo confronto con il test di Student

(t-test), specificando se le differenze sono statisticamente significative, cioè indicando in che intervallo di valori si trova il “p-value”.

Questi valori relativi ai confronti sono stati rappresentati in grafici per tutte le variabili di interesse selezionate, indicando gli andamenti nel tempo di due gruppi da analizzare, con riferimento ad un gruppo di controllo. Inoltre, nella stessa immagine, è anche rappresentato il grado di significatività statistica della differenza tra le due forme d’onda confrontate. Per ogni gruppo sono state confrontate le rappresentazioni grafiche ottenute dall’analisi statistica e le rappresentazioni degli andamenti delle variabili dei singoli soggetti appartenenti al gruppo stesso.

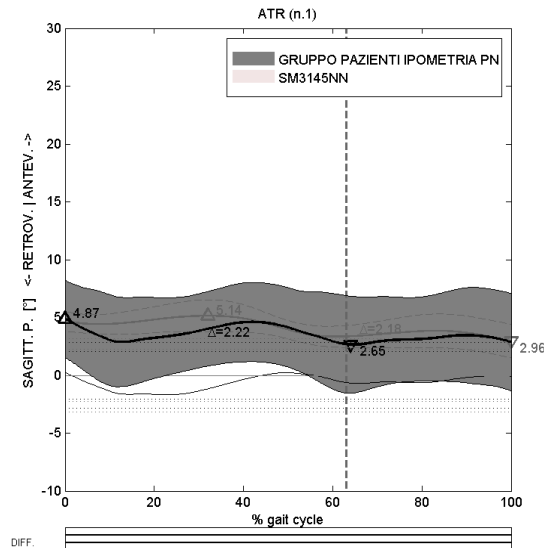
Questa modalità di lavoro non ha però prodotto dei risultati utili ai fini della dimostrazione o della confutazione della nostra tesi, del resto il campione analizzato è molto esiguo ed eterogeneo e ogni soggetto è caratterizzato da una storia personale e da condizioni patologiche diverse da un altro, mostrando come conseguenza anche di atteggiamenti compensatori sviluppati nel tempo, un pattern locomotorio che è difficilmente accomunabile a quello di un altro soggetto giudicato superficialmente simile sulla base di pochi elementi anamnestici.

Infatti, con il confronto tra gruppi di soggetti con una stessa patologia, si sono riscontrate molte incongruenze relative sia all’andamento delle variabili cinematiche e dinamiche, sia alla possibile interpretazione statistica dei confronti. Nello specifico, molti andamenti di variabili di interesse non sono riconducibili a delle caratteristiche comuni. Inoltre, la creazione di gruppi e di archivi di valori medi delle curve rappresentanti le variabili biomeccaniche di interesse, porta a nascondere gli elementi caratteristici del singolo soggetto che in realtà sarebbero coerenti con certe variazioni presenti in altre variabili. Infatti, osservando le rappresentazioni grafiche delle differenze statisticamente significative è emerso che la media dei valori delle variabili dei soggetti appartenenti ad uno stesso gruppo tende a valori di normalità, quindi mediando i valori si perdono le differenze significative del singolo soggetto. Riportiamo come esempio il caso relativo ad uno degli angoli di orientazione del tronco per i soggetti affetti da ipometria. Gli andamenti dei singoli soggetti mostrano in 6 casi su 7 una anteversione o retroversione del tronco nel piano sagittale (Fig. 29).



**Figura 29:** Angolo di anteversione o retroversione del tronco nel piano sagittale (con riferimento assoluto rispetto ad un asse verticale) per soggetti affetti da ipometria.

Andando a mediare questi valori, invece di osservare un andamento diverso da quello del gruppo di controllo, si ottiene una curva con valori di normalità (Fig. 30).



**Figura 30:** Media degli angoli di anteversione o retroversione del tronco per i soggetti affetti da ipometria.

### ***Seconda modalità di lavoro***

Nella prima modalità di lavoro si prevedeva una classificazione dei soggetti in base a gruppi formati considerando le patologie rilevate dallo studio delle anamnesi e una successiva ricerca di elementi comuni negli andamenti delle variabili all'interno di ogni gruppo.

Nella seconda modalità di lavoro, invece, è stata effettuata una ricerca di caratteristiche comuni negli andamenti delle variabili di tutti gli 11 soggetti del campione. Partendo da questa nuova classificazione basata sugli andamenti delle curve, si è andato a ricercare nelle anamnesi dei soggetti quali elementi avessero in comune soggetti classificati come simili dal punto di vista degli andamenti delle variabili.

Anche questa modalità di lavoro non ha prodotto risultati utili ai fini della dimostrazione o della confutazione della nostra tesi, infatti, gruppi di soggetti che mostravano stessi scostamenti rispetto ai valori di normalità negli andamenti delle variabili, avevano patologie variegata e pochi elementi in comune.

### ***Terza modalità di lavoro***

I possibili legami tra le patologie rilevate non sono necessariamente da ricercare nelle caratteristiche relative ad un gruppo o ad un intero campione, come per la prima e la seconda modalità sopra illustrate. In questo studio infatti si è notato che, poiché i soggetti sono compromessi da più patologie contemporaneamente, l'analisi del cammino porta ad evidenziare delle anomalie relative all'andamento di alcune variabili che non sono dovute alla stessa causa per ogni soggetto appartenente al gruppo e che non sembrano trovare spesso giustificazione se non riportate al singolo caso e ai relativi meccanismi di compenso del soggetto.

Da qui la necessità di affrontare una prima fase di analisi delle varie situazioni patologiche di interesse in modo molto specifico e individualizzato.

Il lavoro è stato allora orientato alla ricerca di conferme o confutazioni delle informazioni ottenute dagli esami clinici, all'interno dei dati sperimentali rilevati tramite la Gait Analysis e sono stati analizzati gli andamenti delle principali variabili cinematiche e dinamiche che sono state ritenute le più esplicative dei diversi atteggiamenti dei singoli soggetti. In particolare si tratta delle variabili degli angoli relativi sagittali, dei momenti nel piano sagittale e nel piano frontale per le articolazioni di anca, ginocchio e caviglia; degli angoli di inclinazione dei segmenti, quindi di abduzione dell'anca, di inclinazione della

gamba e della coscia e di extrarotazione del piede; degli angoli riguardanti i movimenti di tronco e bacino; delle componenti della forza di reazione al terreno.

Nello specifico il lavoro si è articolato in 2 fasi:

1. ricerca di conferme tra gli andamenti delle variabili cinematiche e dinamiche e i dati di anamnesi;
2. formulazione di una o più ipotesi eziologiche.

Durante la prima fase, sono state esaminate le informazioni relative all'anamnesi dei soggetti, con lo scopo di trovare caratteristiche e patologie potenzialmente legate al comportamento del tronco e degli arti inferiori. Sono stati evidenziati gli andamenti anomali delle variabili, prendendo come riferimento un gruppo di controllo di soggetti adulti sani, in modo da avere un quadro generale del comportamento dei soggetti in esame e arrivare alla formulazione di legami tra le diverse anomalie riscontrate.

Per la ricerca di conferme tra dati di anamnesi e dati relativi all'analisi del cammino effettuata, sono stati analizzati in primo luogo gli angoli sagittali delle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia, che sono i primi potenzialmente influenzati dalla presenza, ad esempio, di una dismetria importante tra gli arti inferiori e sono facilmente interpretabili. Sulla base dell'esistenza o meno di conferme dell'anamnesi, sono state ricercate altre evidenze nel quadro relativo ai momenti nel piano sagittale e frontale e successivamente nell'andamento delle componenti di reazione al terreno. Inoltre, essendo il corpo una catena cinematica, ogni variazione o anomalia relativa agli arti inferiori, si ripercuote comunque sul comportamento di bacino e tronco, e viceversa, perciò sono stati analizzati anche tali andamenti, con lo scopo di avere ulteriori riscontri delle problematiche di ogni soggetto.

Un valido elemento di supporto per cercare di dare a ciascuna variazione un significato risalente alla situazione strutturale o funzionale specifica del soggetto, è stato rappresentato dalla possibilità di interagire con il software, in modalità di "rendering", analizzando lo stick diagram relativo alla riproduzione delle prove acquisite.

Nella seconda fase, una volta ultimata l'analisi degli andamenti delle variabili, è stato possibile riassumere tutte le osservazioni fatte in termini di conferme o confutazioni di ciò che le informazioni di anamnesi in nostro possesso avrebbero potuto comportare. Si è delineato in questo modo un profilo relativo al soggetto, in cui sono emerse le patologie più rilevanti, cioè che hanno compromesso in maniera più evidente il cammino.

Tutte le considerazioni sono state infine raccolte per arrivare alla formulazione di ipotesi eziologiche, utili ai fini dell'indagine riguardo all'esistenza di legami tra patologie agli arti inferiori e patologie al rachide.

Il capitolo *Risultati* conterrà la descrizione delle fasi della metodologia di indagine finora illustrata, applicata all'analisi dei singoli soggetti, facendo riferimento alle informazioni relative alle anamnesi complete, contenute in *Appendice*.

### 4.1 Introduzione

Nel presente capitolo verranno riproposti per ogni soggetto i dati di anamnesi più rilevanti, i risultati delle diverse fasi di analisi dei dati, descritte nel capitolo precedente, e le relative discussioni.

Per la ricerca di coerenza con le informazioni ottenute dagli esami clinici, sono stati analizzati gli andamenti delle principali variabili cinematiche e dinamiche:

- angoli relativi sagittali delle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia;
- momenti nel piano sagittale e nel piano frontale delle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia;
- angoli di inclinazione dei segmenti, quindi di abduzione dell'anca, di inclinazione della gamba e della coscia e di extrarotazione del piede;
- angoli del tronco;
- angoli del bacino;
- componenti della forza di reazione al terreno.

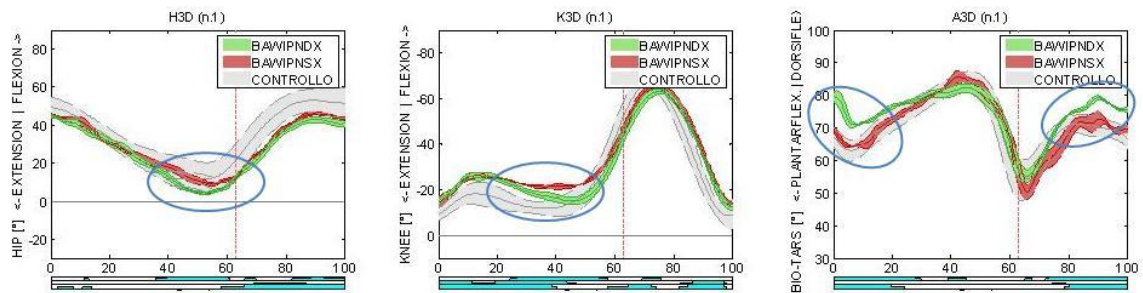
Come esempio, verranno riportate le rappresentazioni grafiche degli andamenti delle variabili analizzate solo per due soggetti, il primo con dismetria strutturale (vera dismetria), il secondo con dismetria funzionale (apparente). Verranno invece descritti e discussi i risultati di tutti gli altri soggetti del campione, senza mostrare gli andamenti delle variabili cinematiche e dinamiche.

### 4.2 Soggetto BAWI

Principali dati di anamnesi:

1. Piede piatto supinato DX;
2. Pronazione mediale DX;
3. Ipometria DX di 3 cm;
4. Gonalgia ginocchio DX;
5. Risalita rotula DX;
6. Lombalgia comparto DX;
7. Zoppia.

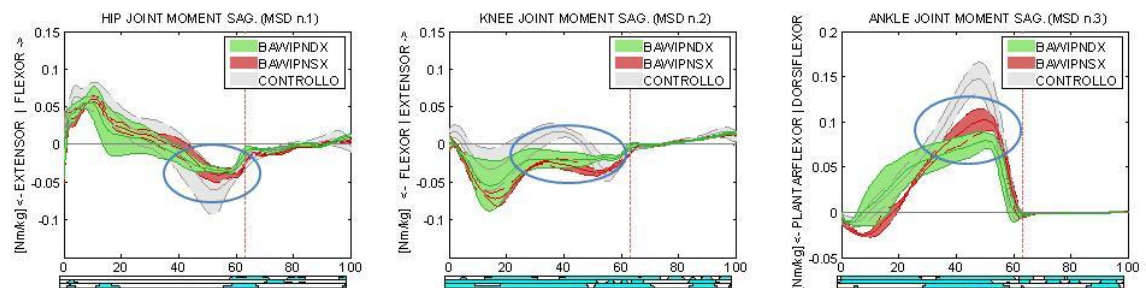




**Figura 31:** Angoli relativi sagittali delle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia.

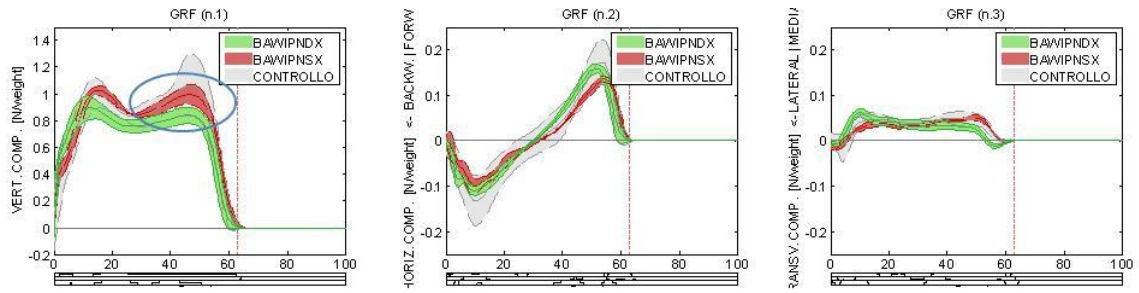
Da una prima analisi degli andamenti degli angoli articolari nel piano sagittale (Fig. 31), si evidenziano un'eccessiva estensione bilateralmente nello swing, mentre nel terminal stance solo per l'anca destra; un'eccessiva flessione del ginocchio bilateralmente nelle fasi di accettazione del carico, di mid stance e di terminal swing; un'eccessiva dorsiflessione per la caviglia destra nelle fasi di initial contact, loading reponse e terminal swing.

Considerando i dati di anamnesi, tenuto conto dell'ipometria all'arto destro, ci si aspetterebbe una maggiore flessione dell'arto più lungo, come evidenziato sugli andamenti in figura 31. Inoltre, l'atteggiamento che si osserva alla caviglia destra, induce a pensare che il soggetto arrivi al contatto col terreno accentuando la dorsiflessione come meccanismo di compenso dell'ipometria.



**Figura 32:** Momenti articolari alle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia nel piano sagittale.

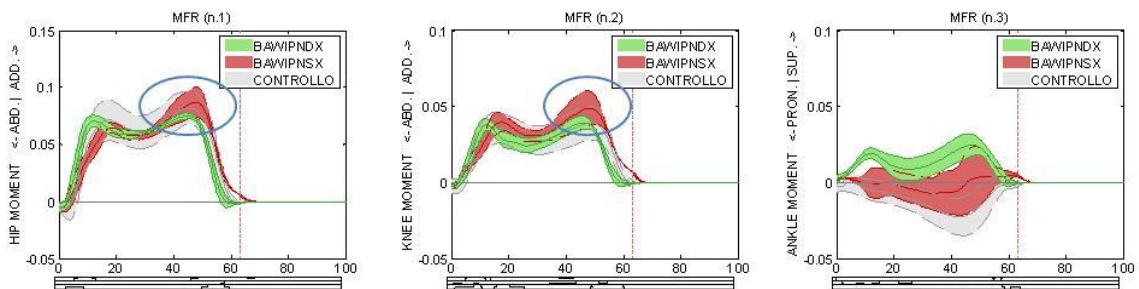
Il momento relativo alla caviglia nel piano sagittale conferma questo atteggiamento compensatorio, infatti il soggetto ha un ridotto momento dorsiflessorio maggiormente a destra, con una spinta in anticipo dovuta all'appoggio in eccessiva dorsiflessione (Fig. 32). A sinistra, l'eccessivo momento plantar flessorio nell'initial contact e nel loading reponse indica una persistenza del carico sul retropiede.



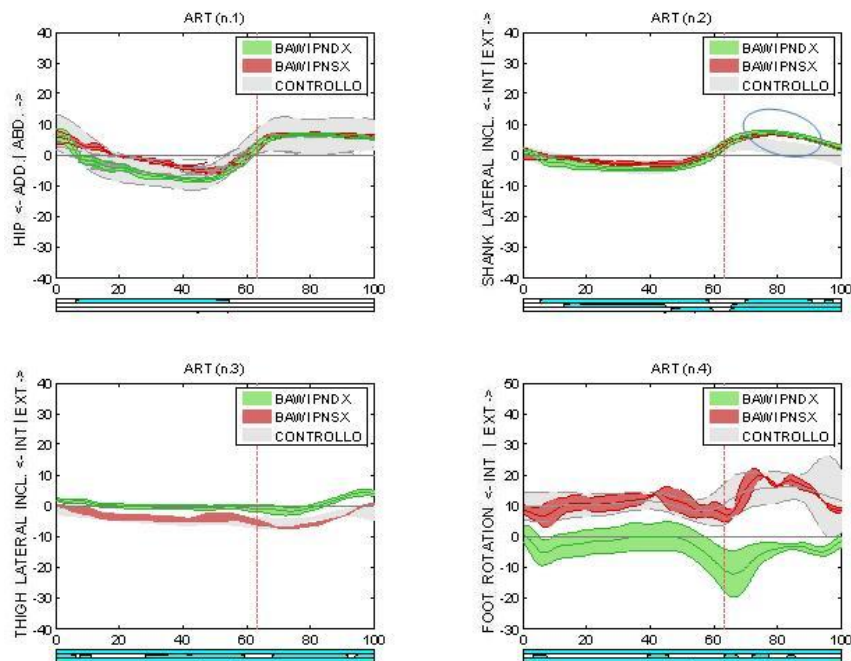
**Figura 33:** Componenti verticale, orizzontale e trasversale della forza di reazione al terreno.

Osservando la componente verticale della reazione al terreno (Fig. 33), si nota un andamento che conferma l’atteggiamento con minore spinta del piede destro.

In base a queste considerazioni, è utile soffermarsi sugli andamenti del momento esterno alla caviglia nel piano frontale (Fig. 34) e della rotazione interna/esterna del piede (Fig. 35).



**Figura 34:** Momenti esterni alle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia nel piano frontale.



**Figura 35:** Angoli assoluti frontali.

Da anamnesi, il soggetto ha il piede destro piatto con avampiede supinato e pronazione mediale, infatti il momento esterno alla caviglia sul piano frontale (Fig. 34) è eccessivamente supinatorio, specie a destra, e il piede destro risulta ruotato internamente, come confermato dall'analisi dello stick diagram.

Da notare inoltre, nell'andamento dei momenti nel piano sagittale (Fig. 33), un ridotto momento estensorio bilaterale dell'anca, coerentemente con l'iperflessione bilaterale delle ginocchia e un eccessivo momento flessorio per entrambe le ginocchia. Nel piano frontale, invece, si osserva un aumentato picco di momento adduttore nel terminal stance, per l'anca sinistra e per il ginocchio ipsilaterale.

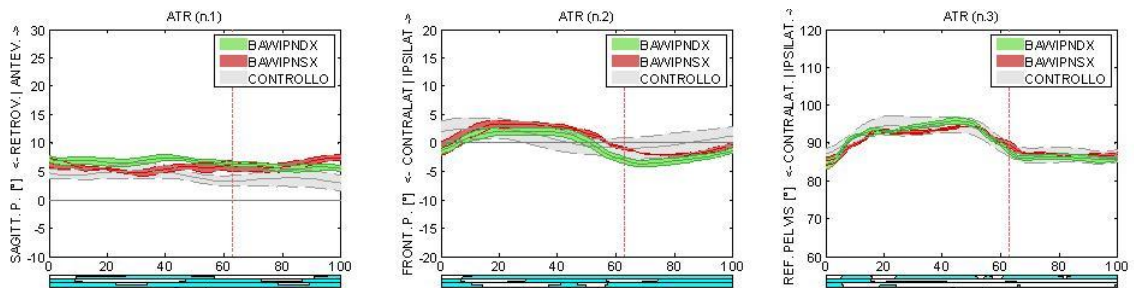


Figura 36: Angoli di inclinazione del tronco.

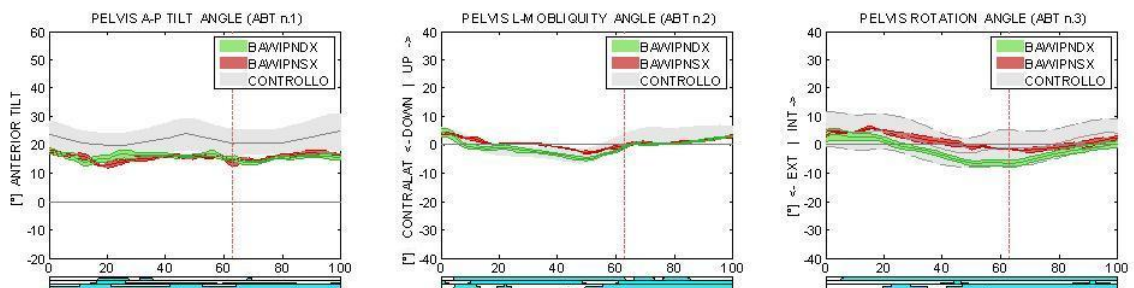


Figura 37: Angoli del bacino.

Nonostante la forte ipometria del soggetto (3 cm), non si riscontrano notevoli anomalie nell'andamento delle variabili relative all'inclinazione del tronco e del bacino (Fig. 36 e 37).

In conclusione, si può giungere alla seguente ipotesi eziologica.

Come appena accennato, il soggetto non inclina notevolmente il bacino e il tronco, pur avendo una importante ipometria, poiché probabilmente nella crescita ha sviluppato dei meccanismi di compenso nell'atteggiamento degli arti e nel trofismo muscolare.

Infatti, si evidenzia un'eccessiva estensione per l'anca dell'arto ipometrico nel terminal stance e un'eccessiva dorsiflessione per la caviglia destra nelle fasi di initial contact, loading reponse e terminal swing. Questi comportamenti possono essere ricondotti all'ipometria, poiché il soggetto cerca di arrivare all'appoggio accentuando la dorsiflessione dell'arto più corto e anticipando la spinta nel picco di momento dorsiflessorio dello stesso arto. In questo modo, si arriva ad una sindrome da sovraccarico del ginocchio destro, che infatti risulta dolente da anamnesi.

Il piede destro, oltre ad avere una spinta anticipata al retropiede, sposta rapidamente il carico sull'avampiede, come compensazione della gonalgia destra. Quindi, in ultima analisi, il soggetto risulta avere un piede destro piatto addotto posteriormente, con avampiede supinato e appoggio soprattutto mediale.

Per quanto riguarda il piede sinistro, risulta essere piatto pronato, con una persistenza del carico sul retropiede, che lo porta ad andare in abduzione.

L'eccessivo momento flessorio al ginocchio potrebbe essere riconducibile alla risalita della rotula destra e risultare una concausa della gonalgia destra.

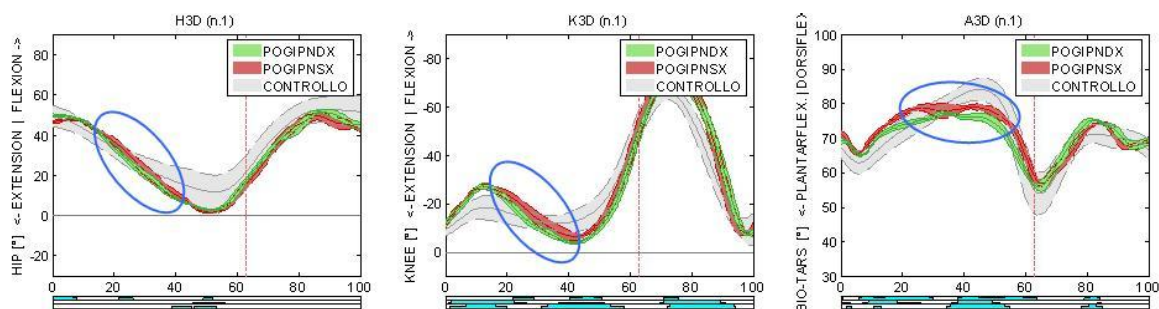
Infine, a causa dell'ipometria, il soggetto è caratterizzato da una marcia con zoppia, che genera una situazione muscolotensiva a livello lombare, sfociando nella lombalgia al comparto destro.

### **4.3 Soggetto POGI**

Principali dati di anamnesi:

1. Piede cavo SX;
2. Supinazione DX;
3. Ipometria apparente DX;
4. Dismorfismo arti inferiori;
5. Ginocchio varo bilateralmente DX>SX;
6. Scoliosi lombare DX convessa;
7. Metatarsalgia SX;
8. Lombalgia.

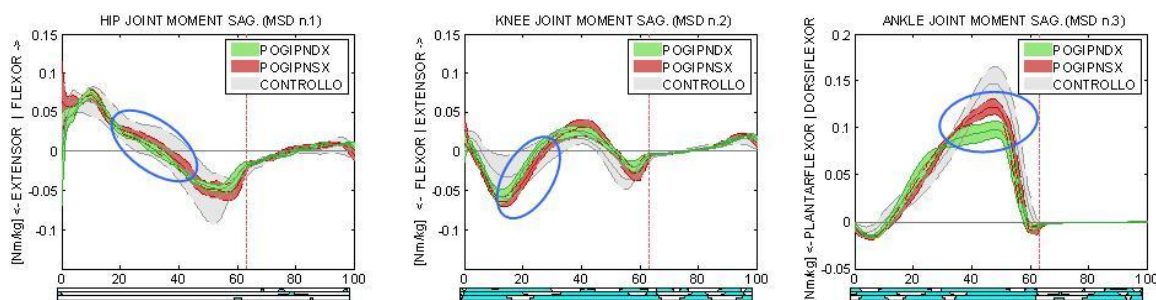
Andamenti degli angoli relativi sagittali:



**Figura 38:** Angoli articolari di anca, ginocchio e caviglia nel piano sagittale.

Da una prima analisi degli andamenti degli angoli articolari nel piano sagittale (Fig. 38), si evidenzia un'eccessiva estensione bilaterale nel terminal stance per l'anca, un'eccessiva flessione del ginocchio bilateralmente nelle fasi di accettazione del carico e di initial swing e un'eccessiva estensione nella fase di mid stance, mentre per quanto riguarda la caviglia si nota un mancato raggiungimento del picco di dorsiflessione nel terminal stance per entrambi gli arti.

Considerando i dati di anamnesi, tenuto conto dell'ipometria all'arto destro, ci si aspetterebbe una maggiore flessione dell'arto più lungo, come evidenziato sugli andamenti in figura 39.



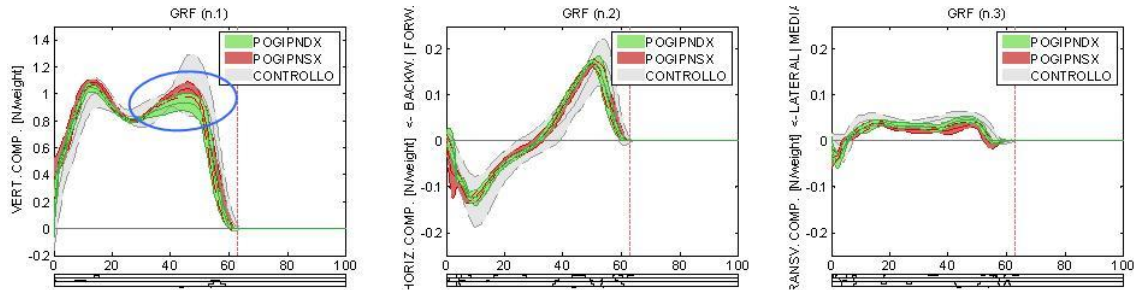
**Figura 39:** Momenti articolari di anca, ginocchio e caviglia nel piano sagittale.

Anche i momenti nel piano sagittale (Fig. 39) sono coerenti con la maggiore flessione dell'arto sinistro (controlaterale all'arto ipometrico).

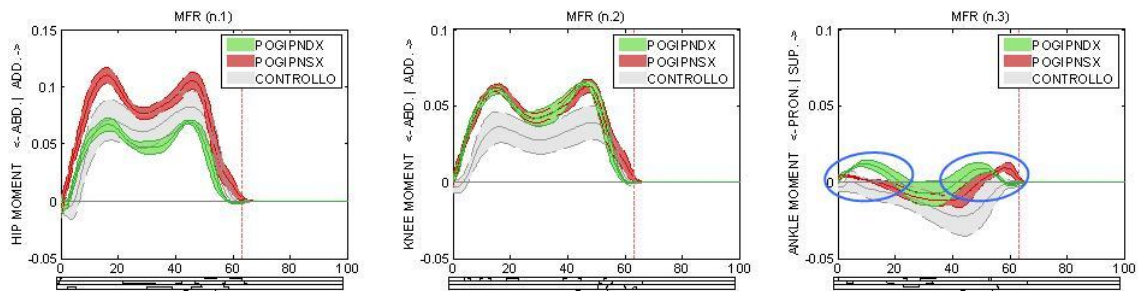
Inoltre, osservando il picco di momento dorsiflessorio, si nota una minore spinta bilaterale, specie a destra, coerentemente con la minore dorsiflessione dell'articolazione tibiotarsica. È possibile cercare una conferma nell'andamento della componente verticale



della reazione al terreno (Fig. 40) che, infatti, presenta un picco di spinta ridotto, maggiormente a destra.



**Figura 40:** Componenti verticale, orizzontale e trasversale della reazione al terreno.



**Figura 41:** Momenti esterni di anca, ginocchio e caviglia nel piano frontale.

Passando all'analisi dei momenti sul piano frontale (Fig. 41), è evidente un eccessivo momento esterno di adduzione, durante tutto l'appoggio per l'anca sinistra e una riduzione del momento adduttore per l'anca destra. Una possibile giustificazione potrebbe essere il varismo del ginocchio destro, che si evidenzia anche nell'eccessivo momento esterno di adduzione per il ginocchio. Per la caviglia destra, l'eccessivo momento supinatorio nell'*initial stance* farebbe ipotizzare un atteggiamento in varo del retro piede. Da notare l'eccessivo momento supinatorio bilaterale nel terminal stance, che trova conferma nell'eccessiva rotazione interna del piede bilateralmente, nella stessa fase del cammino (Fig. 42).

Si può inoltre notare dall'andamento dell'angolo assoluto di abdo-adduzione (Fig. 42), l'eccessiva abduzione dell'anca destra, come già emerso dall'andamento del momento frontale dell'anca. Questo atteggiamento potrebbe essere legato anche all'inclinazione del tronco verso destra (Fig. 43), caratteristica associabile all'ipometria destra.

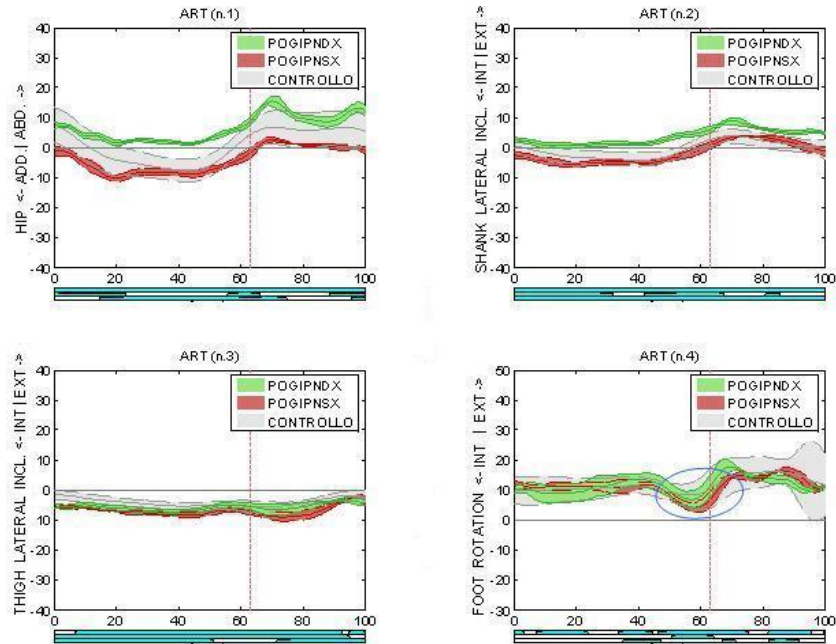


Figura 42: Angoli assoluti frontali.

Negli angoli di inclinazione laterale di coscia e gamba è possibile invece trovare conferma dell'atteggiamento in varo dell'arto destro; infatti entrambi mostrano un'eccessiva inclinazione verso l'esterno.

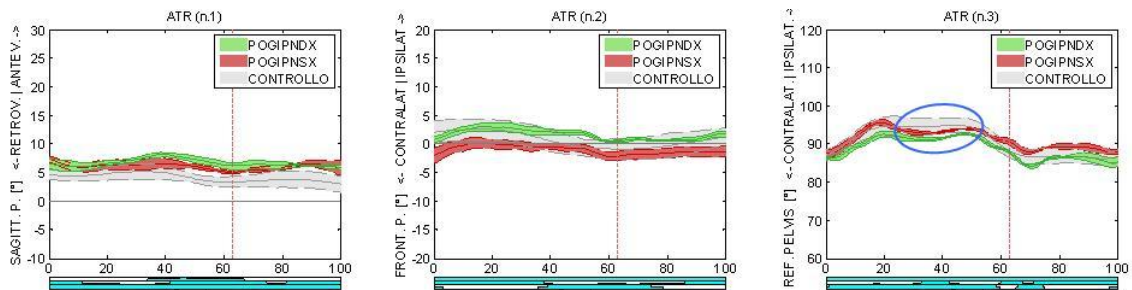


Figura 43: Angoli di inclinazione del tronco.

Nel quadro generale del tronco (Fig. 43), oltre all'inclinazione verso destra, emerge l'antiversione e una ridotta mobilità rispetto al bacino in fase di pieno carico.

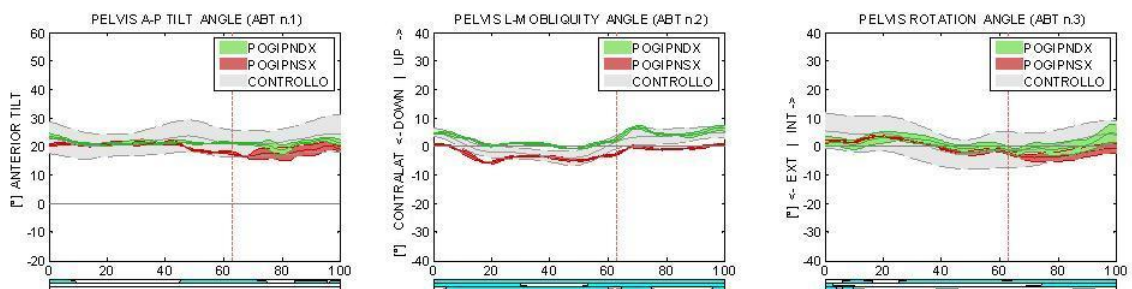


Figura 44: Angoli del bacino.

Nella pelvis obliquity (Fig. 44) risulta un abbassamento della pelvi a destra, come ulteriore elemento presumibilmente collegato all'ipometria.

In conclusione, alla luce di questa analisi è possibile formulare la seguente ipotesi eziologica.

La curva scoliotica lombare destro-convessa induce un abbassamento del bacino a destra. Come compenso della scoliosi, il soggetto accusa una lombalgia da sovraccarico che comporta una contrattura muscolare in zona lombare e riduce il movimento relativo tronco-bacino, di conseguenza il tronco si sposta verso destra. È proprio lo spostamento del tronco verso destra che induce a osservare un'apparente ipometria destra. Inoltre, questo comporta una maggiore adduzione dell'anca sinistra e una minore adduzione dell'anca destra, come conferma l'andamento del momento frontale dell'anca.

Il varismo è la causa della mancata diminuzione del momento adduttore al ginocchio destro.

In fase di carico aumenta il momento supinatorio al retropiede destro, mentre in fase di spinta entrambi i piedi sono intrarotati (addotti), con un eccessivo momento supinatorio sull'avampiede.

La rigidità del I metatarso sinistro può essere legata all'iperflessione del ginocchio ipsilaterale, inoltre, la metatarsalgia a sinistra può giustificare la riduzione di carico sull'avampiede e la ricerca di un appoggio mediale in fase terminal stance. La riduzione del carico di spinta e l'accentuazione del momento supinatorio sull'avampiede destro possono far pensare a metatarsalgia anche a destra.

Dal quadro generale del soggetto emerge un notevole sovraccarico sull'anca sinistra, ma al momento delle acquisizioni il soggetto non accusava dolore. È ipotizzabile che il persistere di queste sollecitazioni nel tempo possa comportare deficit funzionali e posturali.

#### **4.4 Soggetto ANFA**

Principali dati di anamnesi:

1. Supinazione anteriore > SX;
2. Ginocchio DX valgo di 5,3° e ginocchio SX varo di 3°;
3. Ipometria DX di 1,7 cm;



4. Scoliosi dorso-lombare;
5. Gonalgia ginocchio DX;
6. Lombalgia;
7. Retrazione/insufficienza achilleo-surale

Da una prima analisi degli andamenti degli angoli articolari nel piano sagittale si evidenziano un'eccessiva estensione bilaterale nel terminal stance per l'anca (maggiormente a destra), un'eccessiva flessione del ginocchio bilateralmente nella fase di accettazione del carico (maggiormente a sinistra) e per il ginocchio sinistro nella fase di initial swing, un'eccessiva estensione nella fase di mid stance per il ginocchio destro, mentre per quanto riguarda la caviglia si nota un mancato raggiungimento del picco di dorsiflessione nel terminal stance per entrambi gli arti.

Considerando i dati di anamnesi, tenuto conto dell'ipometria all'arto destro, ci si aspetterebbe una maggiore flessione dell'arto più lungo e una maggiore estensione dell'arto ipometrico, ipotesi che per questo soggetto viene confermata dagli andamenti appena descritti.

Anche i momenti nel piano sagittale relativi all'anca e al ginocchio sono coerenti con la maggiore flessione dell'arto sinistro (controlaterale all'arto ipometrico).

Inoltre, osservando il picco di momento dorsiflessorio, si nota una minore spinta bilaterale, coerentemente con la minore dorsiflessione bilaterale dell'articolazione tibiotarsica. È possibile cercare una conferma nell'andamento della componente verticale della reazione al terreno che, infatti, presenta un picco di spinta ridotto bilateralmente.

Passando all'analisi dei momenti sul piano frontale, è evidente un eccessivo momento esterno di adduzione bilaterale dell'anca durante tutto l'appoggio, molto più accentuato per l'anca sinistra. Possibili giustificazioni potrebbero essere il varismo del ginocchio sinistro e il valgismo del ginocchio destro (dati di anamnesi), che si evidenziano chiaramente anche nell'eccessivo momento esterno di adduzione per il ginocchio sinistro e nel ridotto momento esterno di adduzione per il ginocchio destro. Per la caviglia, l'eccessivo momento supinatorio bilaterale nell'initial stance e nella fase di loading reponse farebbe ipotizzare un appoggio in pronazione del retro piede, invece l'avampiede, come da anamnesi, risulta in supinazione.

Si può inoltre notare dall'andamento dell'angolo assoluto di abdo-adduzione, l'eccessiva adduzione dell'anca destra, come già emerso dall'andamento del momento frontale dell'anca. Questo atteggiamento potrebbe essere legato anche all'inclinazione del tronco verso destra, caratteristica associabile all'ipometria destra.

Negli angoli di inclinazione laterale di coscia e gamba è possibile invece trovare conferma dell'atteggiamento in valgo dell'arto destro; infatti entrambi mostrano a destra un'eccessiva inclinazione della coscia verso l'interno e della gamba verso l'esterno.

Nel quadro generale del tronco, oltre all'inclinazione verso destra, emerge una ridotta mobilità del lato sinistro del bacino in fase di pieno carico.

Nella pelvis obliquity, contrariamente a quanto ci si aspetterebbe data l'ipometria destra, risulta un abbassamento della pelvi a sinistra, forse attribuibile alla scoliosi dorso-lombare, della quale non è riferita in anamnesi la tipologia (potrebbe essere in zona lombare sinistro-convessa). Dai dati clinici, però, emerge che il soggetto ha un'ipometria strutturale a destra, patologia riscontrabile più facilmente insieme con una curva scoliotica lombare convessa ipsilateralmente all'arto ipometrico.

In conclusione, alla luce di questa analisi è possibile formulare la seguente ipotesi eziologica.

Come compenso della scoliosi lombare (presumibilmente sinistro-convessa), il soggetto presenta un abbassamento della pelvi a sinistra e accusa lombalgia che comporta una contrattura muscolare in zona lombare e riduce il movimento relativo tronco-bacino a sinistra.

L'ipometria destra invece giustifica la maggiore flessione dell'arto sinistro e la maggiore estensione dell'arto destro.

La flesso-estensione risulta simmetrica (eccessiva estensione) per entrambi gli arti, forse dato l'atteggiamento compensatorio del ginocchio.

Si può pensare di indagare nei momenti di abdo-adduzione dell'anca, per verificare se ci sono degli spostamenti eccessivi relativi all'arto più lungo. Effettivamente il momento di adduzione risulta eccessivo per l'anca sinistra (arto più lungo).

La riduzione della flessione dorsale bilaterale è dovuta forse alla retrazione achilleo-surale. L'insufficienza achilleo-surale invece comporta una spinta ridotta, come emerge dal momento dell'articolazione della caviglia nel piano sagittale e dalla componente verticale della reazione al terreno.

Il varismo del ginocchio sinistro giustifica l'aumento del momento di adduzione nel piano frontale per il ginocchio sinistro, invece il valgismo del ginocchio destro spiega la riduzione del momento di adduzione dell'anca destra, l'aumento dell'angolo di inclinazione verso l'interno della coscia destra e l'aumento dell'angolo di inclinazione verso l'esterno della gamba destra.

## 4.5 Soggetto CAGE

Principali dati di anamnesi:

1. Piede pronato;
2. Ipometria SX di 2,6 cm;
3. Scoliosi dorsale DX convessa e lombare SX convessa;
4. Formazioni ipercheratosiche > DX sintomatiche;
5. Lombalgia comparto DX;
6. Coxalgia DX persistente.

Da una prima analisi degli andamenti degli angoli articolari nel piano sagittale, si evidenzia un'eccessiva estensione bilaterale dell'anca durante tutto il passo e un'eccessiva estensione del ginocchio sinistro nella fase di terminal stance, mentre per quanto riguarda la caviglia si nota un evidente aumento di plantarflessione bilaterale, maggiormente a sinistra.

Considerando i dati di anamnesi, tenuto conto dell'ipometria all'arto sinistro, ci si aspetterebbe proprio una maggiore estensione dell'arto più corto, come evidenziato sugli andamenti appena descritti e confermato anche dai momenti nel piano sagittale.

Inoltre, osservando il picco di momento dorsiflessorio, si nota una minore spinta bilaterale, specie a sinistra, coerentemente con la mancata dorsiflessione dell'articolazione tibiotarsica. È possibile cercare una conferma nell'andamento della componente verticale della reazione al terreno che, infatti, presenta un picco di spinta ridotto, maggiormente a sinistra.

Passando all'analisi dei momenti sul piano frontale, per la caviglia sinistra è evidente l'eccessivo momento supinatorio (conferma del dato di anamnesi riguardante la pronazione del piede) che riconduce alla condizione di un piede più intrarotato della norma, come

evidente anche dall'andamento dell'angolo di rotazione esterna/interna del piede. Anche per la caviglia destra risulta accentuato il momento di supinazione, ma solo nelle fasi di initial contact, loading reponse e terminal stance, nella fase di mid stance invece si nota un eccessivo momento pronatorio, coerente con l'andamento dell'angolo di inclinazione esterna/interna del piede che mostra un aumento della rotazione esterna del piede destro.

I momenti sul piano frontale relativi all'anca e al ginocchio mostrano un aumento del momento adduttore per l'arto sinistro e una diminuzione del momento stesso per l'arto destro. Si è andato ad indagare allora sugli andamenti degli angoli di inclinazione del tronco nei quali emerge, oltre all'antiversione bilaterale, uno spostamento eccessivo verso destra. Inizialmente questo spostamento non si è ritenuto giustificabile data l'ipometria strutturale sinistra; in un secondo momento, osservando i dati di anamnesi è emerso che il soggetto soffre di coxalgia persistente a destra, allora è possibile ipotizzare che il soggetto stesso attui un meccanismo compensatorio antalgico. Questo consiste nello spostare il peso del corpo verso destra in modo da ridurre le forze agenti sull'anca dolente e far sì che l'anca stessa venga sollecitata dalla sola forza peso.

Questa ipotesi giustifica il perché, nonostante l'ipometria sinistra di 2,6 cm, l'andamento dell'angolo di pelvis obliquity non risulti alterato rispetto ai valori di normalità. Sono inoltre plausibili anche l'andamento della componente verticale della reazione di appoggio al terreno che mostra, come scritto precedentemente, una ridotta spinta per l'arto ipometrico, ma un aumento della forza di reazione al terreno per l'arto non ipometrico (ipsilaterale all'anca dolente) e l'andamento del momento abdo-adduttore dell'anca che evidenzia il ridotto momento di adduzione dell'anca destra e che è coerente con la rotazione interna destra del bacino (nota dall'andamento dell'angolo di rotazione pelvica interna/esterna).

In conclusione, alla luce di questa analisi è possibile formulare la seguente ipotesi eziologica.

La curva scoliotica lombare sinistro-convessa e l'ipometria strutturale sinistra indurrebbero un abbassamento del bacino e un'inclinazione del tronco a sinistra, invece il bacino non risulta inclinato e il tronco è spostato a destra. Le ragioni sono da ricercare nel meccanismo antalgico attuato dal soggetto per compensare la coxalgia destra persistente. Il soggetto in esame tende a spostare il carico tutto sul lato dell'anca dolente, in modo da

ridurre il braccio di leva delle forze muscolari e aumentare la forza di reazione al terreno, per far sì che l'unica forza agente sull'anca sia la forza peso.

Quindi, per l'ipometria il soggetto tenderebbe ad essere inclinato verso sinistra, ma per la coxalgia il soggetto si inclina verso destra, generando un andamento dell'inclinazione del bacino simmetrico e nella norma.

Le conferme di questa ipotesi si possono riscontrare nella aumentata componente verticale della reazione al terreno a destra e nella riduzione del momento frontale di adduzione per l'anca destra, coerente con la rotazione del bacino.

Per compensare l'ipometria inoltre il soggetto tende ad appoggiare il piede sinistro in eccessiva plantarflessione e a estendere maggiormente l'arto ipometrico.

## 4.6 Soggetto CIMO

1. Pronazione anteriore bilaterale;
2. Scoliosi lombare DX convessa;
3. Gonalgia ginocchio SX;
4. Limiti estensori ginocchio SX;
5. Ricostruzione LCA SX in esiti traumatici;
6. Lombalgia con riferimento arto inferiore SX.

Analizzando gli andamenti relativi agli angoli articolari di anca, ginocchio e caviglia nel piano sagittale, il ginocchio sinistro risulta più esteso nello stance, nonostante i limiti estensori del ginocchio. L'eccessiva dorsiflessione nello stance solo a destra e nello swing bilateralmente può essere associata all'antiversione del bacino in appoggio destro.

Nel piano sagittale, la maggiore variabilità nei valori del momento per quanto riguarda anca e ginocchio dell'arto destro, potrebbe essere un compenso ai deficit relativi al lato sinistro. Nel momento alla caviglia, si osserva un ridotto picco di momento dorsiflessorio soprattutto a sinistra.

Nel piano frontale, i momenti esterni di adduzione all'anca e al ginocchio denotano un aumento generale bilateralmente, ma per quanto riguarda l'arto sinistro si ha una lieve riduzione del picco in accettazione del carico. Questo aumento dei momenti, nonostante la

forza di reazione al terreno sia nella norma, si può legare allo spostamento del bacino in fase d'appoggio e all'aumentata adduzione dell'anca a sinistra.

Il bacino è in anteversione del bacino nell'appoggio destro, caratteristica forse associabile all'eccessiva dorsiflessione della caviglia destra. L'abbassamento verso sinistra del bacino non sembra legato alle informazioni riportate in anamnesi.

Per quanto riguarda il quadro relativo al tronco, risulta eccessivamente retroverso, pur con cifosi dorsale; nel piano frontale risulta spostato verso sinistra, nonostante il soggetto abbia una scoliosi lombare destro-convessa. Inoltre, si può evidenziare un ridotto spostamento del tronco rispetto al bacino, che denota una rigidità della colonna, forse dovuta a lombalgia.

Le osservazioni fatte sui grafici degli andamenti delle variabili cinematiche e dinamiche non denotano delle compromissioni riassumibili all'interno di una ipotesi eziologica coerente con l'anamnesi del soggetto. Infatti, la fascite plantare a sinistra, riportata in anamnesi, non è congruente con il quadro dei momenti e delle forze di reazione, perciò si potrebbe ipotizzare che sia quantomeno bilaterale. Inoltre, il soggetto ha una deviazione scoliotica lombare destro-convessa, che però non trova riscontro nello spostamento laterale del tronco e nell'inclinazione del bacino, entrambi verso sinistra. Questo atteggiamento potrebbe essere la causa di una lombalgia in appoggio sinistro.

Le uniche considerazioni che possono essere legate a dati di anamnesi sono relative al ginocchio sinistro, in quanto la minore flessione in accettazione del carico e, nella stessa fase del passo, la riduzione del picco di momento nel piano frontale sono associabili alla ricostruzione del legamento crociato anteriore sinistro in esiti traumatici e ad una debolezza degli estensori del ginocchio dello stesso arto (da anamnesi risultano però esclusivamente limiti estensori del ginocchio).

## 4.7 Soggetto COBA

1. Piede cavo lasso;
2. Supinazione del piede > SX;
3. Piede lievemente addotto DX > SX;
4. Ginocchio valgo bilateralmente;
5. Coxa valga piana sublussata bilateralmente (>DX)

6. Scoliosi lombare SX convessa;
7. Lombalgia con riferimento arto inferiore SX.

Dai dati di anamnesi, il soggetto non presenta dismetria tra gli arti inferiori, ma osservando gli andamenti delle variabili relative agli angoli sagittali delle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia, si evidenzia, per l'arto sinistro, un'eccessiva estensione dell'anca e del ginocchio e una ridotta dorsiflessione della caviglia. Questo atteggiamento è simile a quello di un soggetto ipometrico a sinistra.

Per quanto riguarda i momenti nel piano sagittale, si osserva una riduzione del picco dorsiflessorio bilateralmente.

Andando a ricercare ulteriori anomalie all'interno dei grafici relativi ai momenti frontali, si rilevano un eccessivo momento adduttore per l'anca e un ridotto momento abduttore per il ginocchio, bilateralmente. Questa situazione porta ad avere, per entrambi gli arti, la coscia inclinata internamente e la gamba inclinata verso l'esterno, con i piedi extrarotati.

Per quanto riguarda il momento di prono-supinazione nel piano frontale, si ha un eccessivo momento supinatorio nella fase di initial stance per la caviglia destra, mentre nella fase di terminal stance per la caviglia sinistra, confermando i dati di anamnesi che emergono dagli esami baropodometrici.

Gli andamenti degli angoli di inclinazione del tronco e del bacino mostrano un quadro generale del soggetto coerente con l'anamnesi. Il tronco è retroverso, spostato verso sinistra e con una ridotta mobilità rispetto al bacino. Anche il bacino risulta inclinato posteriormente e in down a sinistra.

Riassumendo tutte le osservazioni sugli andamenti delle variabili cinematiche e dinamiche è possibile giungere alla seguente ipotesi eziologica per il soggetto.

La scoliosi sinistro-convessa induce un abbassamento del bacino dal lato sinistro, inoltre anche il tronco è spostato verso sinistra e, a causa della lombalgia, si riducono i movimenti relativi tra bacino e tronco. Questo atteggiamento dovuto alla scoliosi, porta il soggetto a comportarsi come un ipometrico a sinistra. A conferma di questo, negli angoli sagittali si riscontra per l'arto sinistro, un'eccessiva estensione dell'anca e del ginocchio e una ridotta dorsiflessione alla caviglia.

I dati di anamnesi riguardanti il valgismo bilaterale dell'anca e del ginocchio, trovano conferma negli andamenti dei momenti esterni alle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia nel piano frontale. Coxa valga e ginocchio valgo bilateralmente, portano ad avere il piede verso l'esterno, come confermato dall'eccessiva rotazione esterna del piede e dal momento frontale alla caviglia, tendente alla supinazione. In questa situazione, per riportare il piede verso l'interno, l'anca deve addurre molto, infatti aumenta il momento adduttore per l'anca, mentre il ginocchio riduce l'adduzione, infatti si riduce il momento di adduzione per il ginocchio.

Infine, per la caviglia, sono confermati i dati di anamnesi riguardo all'iper carico avampodalico e la supinazione sinistra. La ridotta spinta riscontrata nell'andamento del momento dorsiflessorio si può legare al piede cavo lasso, mentre l'eccessivo momento supinatorio a destra nell'initial contact può essere un ulteriore elemento legato al valgismo del ginocchio.

## 4.8 Soggetto COPA

Principali dati di anamnesi:

1. Pronazione plantare bilaterale;
2. Ginocchio valgo bilaterale;
3. Ipometria apparente SX di 1 cm;
4. Gonalgia bilaterale;
5. Lombalgia;
6. Condropatia tibiale.

Da una prima analisi degli andamenti degli angoli articolari nel piano sagittale si nota una maggiore flessione nel mid e nel terminal stance per l'anca destra, un'eccessiva flessione del ginocchio bilateralmente nelle fasi di initial contact e di accettazione del carico, mentre per quanto riguarda la caviglia si rileva un mancato raggiungimento del picco di dorsiflessione nel terminal stance per l'arto sinistro che ha un eccessivo angolo di plantar flessione.



Considerando i dati di anamnesi, tenuto conto dell'ipometria all'arto sinistro, ci si aspetterebbe proprio una maggiore flessione dell'arto più lungo, come evidenziato sugli andamenti appena descritti.

Anche i momenti nel piano sagittale sono coerenti con la maggiore flessione dell'arto destro (controlaterale all'arto ipometrico) e in particolare si nota, nell'andamento relativo al ginocchio, una tendenza del ginocchio sinistro a sfuggire al carico. Inoltre, osservando il picco di momento dorsiflessorio, si nota una minore spinta bilaterale, specie a sinistra, coerentemente con la minore dorsiflessione dell'articolazione tibiotarsica.

Da anamnesi risulta il piede in pronazione bilateralmente e il ginocchio in valgismo bilaterale. Cercando conferme nell'analisi dei momenti sul piano frontale, risulta un eccessivo momento di supinazione per la caviglia destra, anche per la sinistra in fase di mid e terminal stance, ma molto meno (il piede si conferma comunque pronato). Non c'è un evidente riscontro del valgismo nell'andamento del momento frontale del ginocchio (che invece conferma una tendenza del ginocchio sinistro a sfuggire al carico), solo il momento dell'anca è eccessivamente adduttore (coerentemente con il valgismo delle ginocchia).

Grazie all'osservazione dello stick diagram di questo soggetto sono emersi degli ulteriori dettagli, non evidenti dagli andamenti relativi al quadro del piede.

A causa dell'ipometria, il retro piede sinistro tende ad appoggiare in supinazione, ma nella parte finale dell'appoggio, quando è la parte anteriore del piede a contatto col terreno, il soggetto è costretto alla pronazione dal valgismo del ginocchio.

Si nota un comportamento analogo a destra, infatti il retro piede è in supinazione nell'initial contact e subito nel loading reponse cambia atteggiamento, va in pronazione e resta pronato per il resto del passo.

Negli angoli di abdo-adduzione dell'anca e di inclinazione laterale di coscia e gamba è possibile invece trovare conferma del valgismo bilaterale; infatti mostrano un'eccessiva adduzione dell'anca bilateralmente, un'eccessiva inclinazione verso l'interno della coscia e un'eccessiva inclinazione verso l'esterno della gamba.

L'eccessiva rotazione interna del piede bilateralmente è invece congruente con la pronazione bilaterale del piede.

Nel quadro generale del tronco, oltre alla retroversione, emerge l'inclinazione verso sinistra (coerente con l'ipometria sinistra) e una ridotta mobilità rispetto al bacino in fase di

pieno carico. Altro elemento indicativo dell'ipometria sinistra è l'abbassamento della pelvi a sinistra evidente dall'andamento dell'angolo di pelvis obliquity.

In conclusione, alla luce di questa analisi è possibile formulare la seguente ipotesi eziologica.

La lombalgia comporta una contrattura muscolare in zona lombare e riduce il movimento relativo tronco-bacino.

Il valgismo bilaterale è la causa dell'aumento del momento adduttore frontale all'anca (dato confermato anche dall'andamento dell'angolo di abdo-adduzione dell'anca), della pronazione del piede, dell'inclinazione della coscia verso l'interno e della gamba verso l'esterno.

L'ipometria causa la maggiore flessione dell'arto destro, l'atteggiamento di supinazione del retro piede, l'inclinazione del bacino e del tronco verso sinistra.

La condropatia tibiale potrebbe spiegare l'atteggiamento dell'arto sinistro di sfuggire al carico.

## 4.9 Soggetto DISA

1. Appoggio plantare supinato > DX;
2. Marcia in equinismo e talismo;
3. Limitazione funzionale a range di particolarità elettivamente alla pronosupinazione e alla retropulsione con sofferenza capsulo-ligamentosa per sovra-spinoso;
4. Limitazione gamba DX con difficoltà alla marcia dinamica;
5. Gonalgia ginocchio DX;
6. Sono limitate le manovre di accosciamento e di accovacciamento;
7. Lombalgia;
8. Contrattura in regione paravertebrale lombo-sacrale e limitazione all'articolarietà dei movimenti di flesso-estensione e rotazione.

L'anamnesi del soggetto, riportata per intero in *Appendice*, è caratterizzata da molteplici compromissioni, ma si è cercato di analizzare soprattutto quelle relative alle patologie di interesse per l'obiettivo del presente lavoro.

Per quanto riguarda gli angoli articolari nel piano sagittale, l'andamento è molto simmetrico per le due ginocchia, con una eccessiva flessione bilaterale in fase di accettazione del carico. La caviglia sinistra è caratterizzata da una ridotta plantarflessione nel terminal stance e nello swing, mentre la caviglia destra presenta una maggior flessione dorsale nel terminal swing.

Anche nell'andamento del momento articolare per il ginocchio nel piano sagittale si riscontra un aumento consistente della flessione bilaterale.

Per quanto riguarda i momenti esterni alle articolazioni nel piano frontale, è possibile osservare un eccessivo momento adduttore per l'anca sinistra. Per il ginocchio, si ha un eccessivo momento di adduzione nella prima fase di appoggio a destra e un ridotto momento di adduzione nella seconda fase di appoggio a sinistra. Il forte momento supinatorio per la caviglia destra nella fase di accettazione del carico e l'extrarotazione del piede potrebbero essere legati alla supinazione del retro piede destro, inoltre il soggetto sembra avere una pronazione dell'avampiede destro. L'eccessivo momento supinatorio a sinistra in fase di accettazione del carico indica una probabile supinazione anche del retro piede sinistro, mentre l'elevato momento pronatorio a pieno appoggio fa ipotizzare una extrarotazione dell'avampiede.

L'anca sinistra risulta molto addotta e probabilmente è la causa dell'elevato momento adduttore nel piano frontale.

Per quanto riguarda il tronco, in fase di accettazione del carico si riscontrano delle oscillazioni molto ampie sul piano frontale, con spostamento verso il lato in appoggio, maggiormente a destra. Anche il bacino è inclinato lievemente a destra, con il lato sinistro più avanzato.

Il quadro del soggetto risulta essere poco chiaro ed è difficile formulare una ipotesi eziologica coerente con tutte le osservazioni fatte.

#### **4.10 Soggetto GEAD**

1. Piede piatto anteriore;
2. Ipometria DX;
3. Gonalgia bilaterale;
4. Lombalgia;

5. Parziale riduzione di ampiezza dei forami neurali a sinistra a livello di C5 e C6;
6. In C5-C6 atteggiamento protrusivo posteriore paramediano sinistro;
7. In L4-L5 ernia discale posteriore mediana paramediana sinistra.

A partire dagli andamenti degli angoli articolari nel piano sagittale, si osserva una maggiore flessione del ginocchio sinistro nell'initial contact e un'estensione lievemente eccessiva nel mid stance di entrambe le ginocchia; inoltre, si evidenzia una ridotta dorsiflessione per la caviglia sinistra nella fase di accettazione del carico e nel terminal stance, coerentemente con l'estensione del ginocchio. Per la caviglia destra emerge, invece, un'eccessiva plantarflexione nello stacco e nell'initial swing, associabile a un meccanismo di compenso dell'ipometria dell'arto destro.

Nell'andamento del momento alla caviglia nel piano sagittale si nota un ridotto picco dorsiflessorio bilaterale e un anticipo di momento dorsiflessorio per la caviglia sinistra.

L'eccessivo momento di abduzione per il ginocchio sinistro corrisponde ad un atteggiamento in valgo del ginocchio stesso, che però non è confermato nell'andamento dell'angolo di abdo-adduzione, poiché le ginocchia risultano essere in abduzione.

Continuando con l'osservazione dei momenti nel piano frontale, si evidenzia un eccessivo momento di pronazione per la caviglia sinistra, risultato discordante con il comportamento in valgo del ginocchio e con l'eccessiva rotazione esterna del piede.

Per quanto riguarda le rotazioni del bacino e del tronco, l'obliquità pelvica presenta un abbassamento del bacino a destra, coerentemente con l'ipometria destra e il tronco risulta retroverso confermando la lordosi lombare riportata in anamnesi. Tuttavia, nel piano frontale, il tronco è inclinato verso sinistra sia in riferimento a un piano assoluto, sia rispetto alla pelvi, probabilmente per il deficit posturale del soggetto.

In conclusione, è possibile formulare la seguente ipotesi eziologica sulla base di quanto riscontrato nei grafici.

Coerentemente con l'ipometria destra, il ginocchio sinistro si flette maggiormente nell'initial contact e questo comportamento trova conferma nella minore spinta per la caviglia destra, nell'andamento del momento nel piano sagittale. L'anticipo del momento dorsiflessorio per la caviglia sinistra potrebbe essere invece legato ai dati baropodometrici relativi al soggetto.

Un altro elemento legato all'ipometria destra è l'obliquità pelvica, infatti si evidenzia un abbassamento a destra del bacino.

Molteplici sono le compromissioni del rachide del soggetto, riportate nella scheda in *Appendice*, che possono essere la causa dell'inclinazione verso sinistra del tronco, nonostante l'ipometria a destra. Tra le altre troviamo la parziale riduzione di ampiezza dei forami neurali a sinistra a livello di C5 e C6, in C5-C6 atteggiamento protrusivo posteriore paramediano sinistro, in L4-L5 un'ernia discale posteriore mediana paramediana sinistra che tende ad impegnare le strutture nervose dello stesso lato. In questo quadro generale, si può ipotizzare che il soggetto inclini il tronco a sinistra a causa di sintomi dolorifici dovuti alle diverse compromissioni della colonna.

Nel comportamento del ginocchio è interessante notare che, poiché da anamnesi non si evidenzia valgismo o varismo, il soggetto potrebbe aver sviluppato un atteggiamento compensatorio dell'ipometria. L'eccessivo momento di abduzione per il ginocchio sinistro induce un comportamento in valgismo del ginocchio stesso, in contrasto con l'andamento dell'angolo di abdo-adduzione del ginocchio, che denota una abduzione bilaterale. Associata al valgismo del ginocchio, solitamente si riscontra una pronazione del piede, che in questo caso viene confermata dall'angolo di rotazione esterna del piede, ma non dal momento alla caviglia nel piano frontale. Infatti, la caviglia sinistra è caratterizzata da un eccessivo momento di pronazione.

#### **4.11 Soggetto HAGI**

1. Ipometria SX di 1,8 cm;
2. Scoliosi lombare SX convessa e dorsale DX convessa;
3. Gonalgia ginocchio DX;
4. Metatarsalgia ed ipercheratosi SX.

Dall'andamento degli angoli articolari nel piano sagittale, si evidenzia per l'anca sinistra una iperestensione, mentre per l'anca destra si nota un blocco nella flessione. Nonostante ciò, la coscia destra si inclina comunque in avanti.

Nello stesso piano, si assiste a un arresto dell'estensione del ginocchio destro nel mid stance e, come compenso all'ipometria dell'arto sinistro, emerge un'iperestensione del

ginocchio sinistro nel mid stance e una lieve plantarflexione della caviglia sinistra nella stessa fase del cammino. La caviglia destra è caratterizzata, invece, da una eccessiva dorsiflessione, dato che l'anca è poco flessa e il bacino è ruotato verso destra e retroverso.

Un ulteriore effetto della retroversione del bacino si nota nell'andamento del momento flesso-estensorio dell'anca nel piano sagittale.

Il momento articolare del ginocchio nel piano sagittale mostra una conferma dell'arresto dell'estensione, visto nell'andamento degli angoli sagittali.

Alla caviglia, si ha una riduzione del picco dorsiflessorio di spinta bilateralmente e una persistenza del carico sul retropiede sinistro, che conferma i dati di anamnesi.

Anche i momenti esterni alle articolazioni nel piano frontale sono caratterizzati da differenze rispetto ai valori di normalità. Per quanto riguarda l'anca sinistra, si osserva un eccessivo momento di adduzione a causa di un'aumentata adduzione nel terminal stance. A causa della rotazione interna del piede, invece, il ginocchio sinistro ha un eccessivo momento adduttorio nel terminal stance. L'andamento del momento esterno nel piano frontale per la caviglia mostra infine un eccessivo momento di pronazione nella fase di terminal stance a destra, a causa della extrarotazione; a sinistra si ha un momento pronatorio ridotto, dovuto all'intrarotazione e un terminal stance con momento supinatorio.

La coscia destra risulta inclinata verso l'esterno nello swing, mentre la coscia sinistra è inclinata verso l'interno.

Il tronco si presenta in retroversione e inclinato sempre verso sinistra.

Nonostante l'ipometria sinistra, la pelvi è ben allineata, con il lato destro sempre dietro al sinistro. La retroversione del bacino nella seconda parte dello stance a sinistra e nella prima parte dello swing a destra permette l'avanzamento dell'arto destro.

Riassumendo le osservazioni fatte, il soggetto presenta una limitazione alla flessione dell'anca destra, non riportata clinicamente, che si può ipotizzare sia dovuta a coxartrosi o, ad esempio, a una retrazione degli ischiocrurali. Questo blocco nella flessione, impone un'eccessiva dorsiflessione della caviglia destra e la retroversione del bacino per lanciare l'arto più lungo in avanti.

L'ipometria sinistra, inoltre, comporta un'iperestensione del ginocchio sinistro e una lieve plantarflexione della caviglia sinistra.

Il carico viene mantenuto a lungo sul retropiede sinistro, con un ridotto picco di spinta, coerentemente con la metatarsalgia a sinistra.

Da anamnesi, il soggetto ha scoliosi lombare sinistro-convessa, associabile alla rotazione orizzontale del bacino con il lato destro arretrato. Come conseguenza di questo atteggiamento, i piani di flessione-estensione sono ruotati a destra e si osservano un aumento del momento pronatorio a destra e una diminuzione dello stesso a sinistra. In fase di accettazione del carico, quando il ginocchio si flette, aumenta il momento adduttore al ginocchio destro e diminuisce al ginocchio sinistro. Inoltre, l'abduzione piede destro potrebbe servire a ridurre il momento adduttore al ginocchio destro.

L'aumento del momento adduttore al ginocchio destro ne aggrava la gonalgia riportata in anamnesi, perciò è ipotizzabile che l'arresto dell'estensione del ginocchio in fase di carico sia un meccanismo di compenso antalgico.

## 4.12 Soggetto PIDI

Principali dati di anamnesi:

1. Piede piatto bilaterale.
2. Retropiede valgo in pronazione SX > DX;
3. Supinazione anteriore DX > SX;
4. Ginocchio varo bilateralmente;
5. Abbassamento dell'emibacino SX (ipometria apparente SX);
6. Scoliosi lombare SX convessa e dorsale DX convessa;
7. Ipercheratosi II raggio metatarsale piede SX;
8. Gonalgia bilaterale;
9. Lombalgia con riferimento arto inferiore SX;

Da una prima analisi degli andamenti degli angoli articolari nel piano sagittale, si evidenzia un'eccessiva estensione bilaterale per l'anca, maggiormente a sinistra (destra più flessa della sinistra) durante tutto il ciclo del passo e un'eccessiva estensione del ginocchio bilateralmente nelle fasi di appoggio, maggiormente a sinistra (il ginocchio destro è più flessione del sinistro), mentre per quanto riguarda la caviglia si nota una riduzione della dorsiflessione bilateralmente.

Considerando i dati di anamnesi, tenuto conto dell'abbassamento dell'emibacino sinistro che fa comportare il soggetto come un ipometrico a sinistra, ci si aspetterebbe una maggiore flessione dell'arto più lungo, come evidenziato sugli andamenti appena descritti.

Anche i momenti nel piano sagittale sono coerenti con la maggiore flessione dell'arto destro (controlaterale all'arto ipometrico).

Inoltre, osservando il picco di momento dorsiflessorio, si nota una minore spinta bilaterale, specie a sinistra (arto ipometrico). È possibile cercare una conferma nell'andamento della componente verticale della reazione al terreno che, infatti, presenta un picco di spinta ridotto, maggiormente a sinistra.

Passando all'analisi dei momenti sul piano frontale, è evidente un eccessivo momento esterno di adduzione, durante tutto l'appoggio per il ginocchio bilateralmente, questo tipo di andamento è di solito riconducibile al varismo delle ginocchia (riportato in anamnesi), avremmo dovuto trovare riscontro anche nel momento frontale relativo all'anca, che invece ha un andamento nella norma.

L'atteggiamento del piede in questo caso è condizionato nell'initial contact e nel loading reponse dalla pronazione del retro piede valgo, legata al piattismo (che risulta da anamnesi) e che trova conferma nell'eccessivo momento frontale di supinazione per la caviglia e nell'eccessiva rotazione esterna del piede riscontrata nell'andamento dell'angolo di rotazione interna/esterna nelle fasi corrispondenti. Nelle fasi che implicano il contatto dell'avampiede con il terreno, sembra che il soggetto venga costretto dal varismo delle ginocchia a supinare (infatti in anamnesi risulta la supinazione anteriore del piede e inoltre l'angolo di rotazione interna/esterna del piede mostra un'eccessiva rotazione interna nelle fasi corrispondenti).

L'andamento di inclinazione laterale della coscia dove emerge un'eccessiva rotazione della coscia verso l'esterno è coerente con il varismo, ma non si riscontra anche un'eccessiva rotazione esterna della gamba.

Nel quadro generale del tronco si può notare un lieve spostamento verso sinistra e una lieve ridotta mobilità rispetto al bacino.

Nella pelvis obliquity risulta un abbassamento delle pelvi a sinistra, come ulteriore elemento presumibilmente collegato all'ipometria.

In conclusione, alla luce di questa analisi è possibile formulare la seguente ipotesi eziologica.



La curva scoliotica lombare sinistro-convessa induce un abbassamento del bacino a sinistra. Come compenso della scoliosi, il soggetto accusa una lombalgia che comporta una contrattura muscolare in zona lombare e riduce il movimento relativo tronco-bacino, di conseguenza il tronco si sposta verso sinistra. Questa caratteristica, unita all'abbassamento dell'emibacino sinistro, induce a osservare un'apparente ipometria sinistra.

Il varismo bilaterale è la causa della mancata diminuzione del momento adduttore al ginocchio e trova conferma nell'inclinazione verso l'esterno della coscia, ma non negli andamenti nella norma dell'anca e della rotazione esterna della gamba.

Dovuta al varismo del ginocchio è anche la supinazione dell'avampiede, mentre la pronazione del retro piede valgo è legata al piattismo del soggetto.

Infine, a causa dell'apparente ipometria sinistra il soggetto tende a flettere maggiormente l'arto destro e ad estendere il sinistro.

## CAPITOLO 5 DISCUSSIONE

L'analisi sugli 11 soggetti ha consentito di effettuare delle considerazioni relative al campione oggetto di studio, con l'obiettivo di trovare conferme o confutazioni dei dati clinici raccolti nelle anamnesi. Sulla base degli andamenti delle variabili cinematiche e dinamiche di ogni soggetto sono state formulate delle ipotesi eziologiche, che costituiscono il punto di partenza per una discussione più approfondita riguardo alle relazioni tra le diverse situazioni patologiche al rachide e agli arti inferiori che compromettono il cammino dei soggetti.

Lo studio di queste relazioni è estremamente interessante da punto di vista clinico-riabilitativo, in quanto l'incidenza di mal di schiena è estremamente elevata nella popolazione adulta ed è spesso associata, seppure in una relazione di causa-effetto poco nota, ad alterazioni dell'arto inferiore che possono riguardare deformità del piede, dismetria degli arti, varismo/valgismo delle ginocchia, intra o extra rotazione ecc... e combinazioni varie delle stesse. Spesso inoltre queste alterazioni degli arti inferiori sono conseguenti ad effetti traumatici quali incidenti stradali o sul lavoro, oppure sono esiti di interventi chirurgici o di difettose riparazioni di fratture ossee. Lo studio delle relazioni causali tra queste alterazioni ed il mal di schiena, che per converso potrebbe anche manifestarsi indipendentemente per effetto di scoliosi o alterazioni del rachide preesistenti, riveste un rilevante interesse anche dal punto di vista medico-legale.

Nel caso del presente studio, dalle osservazioni riportate è emerso che le patologie che maggiormente coinvolgono sia le articolazioni degli arti inferiori, sia l'orientazione di tronco e bacino sono piede piatto/cavo, piede pronato/supinato, ginocchio valgo/varo, ipometria di un arto, scoliosi, metatarsalgia, gonalgia, lombalgia. Nella ricerca di conferme tra dati sperimentali e dati clinici, queste compromissioni sono state ritenute spesso le cause degli atteggiamenti patologici del cammino riscontrati e dei meccanismi di compenso attuati dai soggetti e, quindi, sono state inserite nelle loro ipotesi eziologiche.

La maggiore difficoltà è stata quella di trovare caratteristiche comuni ai soggetti del campione, sia dal punto di vista delle anamnesi che dal punto di vista dell'analisi del cammino.

Un importante strumento utile per attribuire un significato strutturale o funzionale alle modifiche degli andamenti delle curve che rappresentano angoli, momenti e potenze

articolari è stato lo studio dello stick diagram relativo alla riproduzione delle prove acquisite. L'interattività con il software, in modalità di "rendering", affiancata all'osservazione degli andamenti delle variabili cinematiche e dinamiche, è stata decisiva nelle fasi di analisi e interpretazione dei dati.

Da un primo esame degli andamenti degli angoli articolari di anca, ginocchio e caviglia nel piano sagittale si evidenzia, nel caso dei 7 soggetti con dismetria strutturale o funzionale, un'eccessiva estensione per l'arto ipometrico, spesso associata ad una maggiore flessione dell'arto più lungo. L'andamento dell'angolo alla caviglia nel piano sagittale ha permesso di delineare diversi profili relativi agli atteggiamenti del piede: alcuni cercano di arrivare al contatto col terreno accentuando la dorsiflessione, quasi a voler anticipare l'appoggio di tallone, come nel caso del soggetto BAWI; altri mostrano una ridotta dorsiflessione nella fase di stance, forse indice di una ricerca dell'appoggio avampodalico, come nel caso del soggetto CAGE.

Nello studio dei soggetti, all'osservazione delle alterazioni legate alla cinematica della caviglia è seguita l'analisi del momento nel piano sagittale e della componente verticale della forza di reazione al terreno. In generale, infatti, le anomalie nell'andamento dell'angolo alla caviglia comportano una ridotta spinta, visibile negli andamenti di queste due variabili dinamiche. Inoltre, i soggetti che tendono a dorsiflettere eccessivamente, anticipando l'appoggio, mostrano una spinta anticipata nell'andamento del momento dorsiflessorio.

Proseguendo con l'analisi del comportamento del piede, sono emerse compromissioni più complesse di quelle raccolte dai dati di anamnesi, in quanto uno stesso soggetto mostra patologie diversificate a seconda che si consideri l'avampiede o il retro piede. Nel caso del soggetto COPA, infatti, a causa dell'ipometria, il retro piede sinistro tende ad appoggiare in supinazione, ma nella parte finale dell'appoggio, quando è la parte anteriore del piede a contatto col terreno, il soggetto è costretto alla pronazione dal valgismo del ginocchio. Si nota un comportamento analogo a destra, infatti il retro piede è in supinazione nell'initial contact e subito nel loading reponse cambia atteggiamento, va in pronazione e resta pronato per il resto del passo.

Nel caso del soggetto PIDI, invece, l'atteggiamento del piede è condizionato nell'initial contact e nel loading reponse dalla pronazione del retro piede valgo, legata al piattismo (che risulta da anamnesi) e che trova conferma nell'eccessivo momento frontale

di supinazione per la caviglia e nell'eccessiva rotazione esterna del piede riscontrata nell'andamento dell'angolo di rotazione interna/esterna nelle fasi corrispondenti. Nelle fasi che implicano il contatto dell'avampiede con il terreno, sembra che il soggetto venga costretto dal varismo delle ginocchia a supinare (infatti in anamnesi risulta la supinazione anteriore del piede e inoltre l'angolo di rotazione interna/esterna del piede mostra un'eccessiva rotazione interna nelle fasi corrispondenti).

Questi casi, nell'esecuzione del gesto motorio, sono prova del reciproco condizionamento tra alterazioni anatomiche e alterazioni biomeccaniche legate alla catena cinematica.

Infatti, anche esaminando i casi di varismo e valgismo del ginocchio, riportati in anamnesi, è emersa la necessità di ricercare conferme di tali atteggiamenti negli andamenti di variabili relative al ginocchio, all'anca e agli angoli di inclinazione di coscia e gamba. Nei soggetti studiati, il varismo del ginocchio comporta un aumento del momento adduttore per il ginocchio, una riduzione del momento adduttore per l'anca, un'inclinazione verso l'esterno della coscia e della gamba. Il valgismo, invece, comporta una diminuzione del momento adduttore per il ginocchio, un aumento del momento adduttore per l'anca, un'inclinazione verso l'interno della coscia e della gamba. Come esempio di questo comportamento è interessante il soggetto ANFA, poiché ha entrambi gli arti interessati da queste patologie (ginocchio destro valgo, ginocchio sinistro varo).

Passando al quadro relativo a bacino e tronco, le variabili più rilevanti ai fini dell'analisi delle relazioni tra le patologie sono rispettivamente la pelvis obliquity e l'inclinazione del tronco nel piano frontale. Infatti, sia il bacino che il tronco mostrano inclinazioni legate in alcuni casi alla dismetria, come per il soggetto COPA (inclinazione verso il lato più corto), in altri casi alla deviazione scoliotica del rachide lombare, come nel caso del soggetto POGI (inclinazione ipsilaterale alla convessità della curva). Sono state analizzate situazioni in cui, nonostante la presenza di queste patologie, la pelvi e il tronco non hanno particolari inclinazioni: il soggetto BAWI non inclina notevolmente il bacino e il tronco, pur avendo una importante ipometria, poiché probabilmente nella crescita ha sviluppato dei meccanismi di compenso nell'atteggiamento degli arti e nel trofismo muscolare; per il soggetto CAGE, la curva scoliotica lombare sinistro-convessa e l'ipometria strutturale sinistra indurrebbero un abbassamento a sinistra del bacino, che

invece non risulta inclinato, probabilmente per un meccanismo antalgico attuato dal soggetto per compensare la coxalgia destra persistente.

In questo quadro si inserisce la variabile relativa allo spostamento del tronco rispetto alla pelvi, che in alcuni casi ha evidenziato una ridotta mobilità tronco-bacino. Le cause di queste limitazioni sono da ricercare, in una prima analisi, nella presenza di una contrattura muscolare della zona lombare. Questa contrattura è solitamente legata ad una lombalgia da sovraccarico, associabile alla scoliosi lombare.

In conclusione, per evidenziare delle correlazioni e interpretare i fenomeni che si verificano nel campione oggetto di questo studio non bastano la semplice osservazione delle deviazioni dalla normalità delle singole variabili e le considerazioni basate sull'analisi qualitativa dei dati. Infatti, nel capitolo *Conclusioni e Sviluppi futuri*, si proporranno degli ipotetici metodi di analisi che facciano progredire questo tipo di indagini.

La ricerca di possibili legami tra alterazioni funzionali o strutturali degli arti inferiori e compromissioni alla colonna vertebrale ha rappresentato il proposito del presente lavoro. In questo contesto, sono state rilevanti le informazioni riportate nelle anamnesi cliniche. Infatti, è stato fondamentale prendere in considerazione lo stato antecedente ad un qualsiasi danno causale delle problematiche dei soggetti, per avviare l'analisi delle possibili evoluzioni nel tempo delle patologie riportate.

Nel capitolo *Stato dell'arte* è stata presa in esame la letteratura riguardante l'indagine sulla possibile esistenza di relazioni tra patologie agli arti inferiori e al rachide, tramite l'utilizzo di metodologie diverse e spesso poco adeguate per una corretta quantificazione delle reali compromissioni biomeccaniche del movimento dei soggetti. Infatti, le tematiche affrontate in questo studio sono di particolare interesse in diversi settori e sono oggetto di controversie sia nell'ambito della valutazione medico-legale che in quello della riabilitazione delle alterazioni patologiche.

Per questo motivo, si è ritenuto necessario utilizzare un approccio quantitativo alle valutazioni citate, poiché finora erano rimasti limitati i tentativi di un'analisi orientata in questo campo. La Gait Analysis ha rappresentato un valido strumento per interpretare le disfunzioni dei soggetti, tramite lo studio degli scostamenti dai valori di normalità degli andamenti delle variabili di cinematica e dinamica relative al cammino, con l'obiettivo di identificare possibili sviluppi metodologici che permettano di analizzare correttamente e in modo relativamente automatico le relazioni tra alterazioni funzionali o strutturali dell'arto inferiore e situazioni patologiche acute o croniche del rachide.

La complessità della definizione delle relazioni causa-effetto tra le evidenze sperimentali è emersa nell'esigenza di analizzare non più solo le alterazioni morfo-funzionali e posturali dei soggetti, ma anche gli aspetti dinamici nell'effettuazione di un gesto motorio. Inoltre, in questo ambito, si è constatata l'inefficacia di una osservazione delle deviazioni dalla normalità delle singole variabili ed è emersa la necessità di avvalersi in futuro di ulteriori e più innovativi modelli di interpretazione dei dati, che possano ottimizzare la fase di analisi.

Lo studio degli andamenti, infatti, si è basato sulla osservazione qualitativa di particolari anomalie che, confermando i dati di anamnesi, potessero portare alla definizione

di relazioni tra le patologie riscontrate. Questa metodologia, oltre ad essere dispendiosa in termini di tempo, è influenzata da una componente soggettiva dell'autore dell'indagine. Ecco perché potrebbe essere molto vantaggioso elaborare e sviluppare dei modelli di gestione e traduzione dei dati che, con procedure standardizzate, rilevino gli scostamenti degli andamenti dalla normalità, in base a questi elaborino un profilo del soggetto ed evidenzino le relazioni tra le patologie individuate.

Come prosecuzione di questo studio, un ulteriore aspetto che potrebbe essere utile approfondire riguarda l'analisi degli andamenti delle variabili cinematiche e dinamiche elaborati a partire dalle acquisizioni effettuate sugli stessi soggetti del campione, con l'utilizzo di plantari o rialzi inseriti nelle calzature. Effettivamente, nelle diverse fasi del presente lavoro, sono stati già raccolti ed elaborati i dati delle prove di gait-analysis con scarpe, ma non sono state effettuate l'analisi e la formulazione delle ipotesi eziologiche, data la difficoltà di interpretazione e le questioni ancora poco chiare riguardo i profili dei soggetti. Infatti, osservare l'influenza del trattamento sul cammino potrebbe essere d'aiuto non solo per valutare le patologie che interessano sia gli arti inferiori che il rachide, ma anche per programmare l'intervento riabilitativo (in termini di fisioterapia, farmaci, ortesi, chirurgia), per valutare i trattamenti finora utilizzati e proporre dei nuovi.

In questo contesto si potrebbe inserire un progetto di gait-analysis con l'applicazione di plantari o rialzi nelle calzature su un campione di soggetti sani, in modo da valutare quali siano i meccanismi di adattamento di natura biomeccanica, neurologica, addirittura psicosomatica, a questo tipo di trattamento.

In conclusione, è necessario considerare che atteggiamenti posturali alterati o asimmetrici possono progressivamente portare a deviazioni strutturali della colonna e a dolori a vari livelli e che anche le originali deformità della colonna possono indurre carichi alterati agli arti inferiori con relative conseguenze negative. Per questo motivo, oltre a tener presente quale fosse la storia posturale e funzionale pregressa e il quadro attuale di ogni soggetto, sarebbe fondamentale valutare l'evoluzione della situazione del campione analizzato nel presente lavoro dopo un determinato lasso di tempo.

Ovviamente, sarebbe opportuno in futuro ampliare la numerosità dei soggetti per conferire una maggiore valenza statistica allo studio.

<b>ANFA</b>	<p><b>STATO PREGRESSO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Osteocondrite SX;</li> <li>▪ Lombalgia riferita per otto anni (da 3 anni non più);</li> <li>▪ Da Teleradiografia in ortostasi rachide, bacino e arti inferiori:</li> <li>▪ Discopatia L4-L5;</li> <li>▪ Ipometria DX 1,7 cm;</li> <li>▪ Deviazione in valgo femoro-tibiale DX di 5,3° e SX di 3°.</li> </ul> <p><b>ESAME OBIETTIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sofferenza radicolare di L5-S1 in atteggiamento scoliotico dorso-lombare con dismetria apparente DX dovuta a livellamento dell'epifisi femorale con dolore al mesopiede destro (fascite);</li> <li>▪ Irregolarità della limitante somatica inferiore di L2-L3 superiore di L5 per erniazioni intraspongiose di Schmorl;</li> <li>▪ Retrazione/Insufficienza dell'achilleo-surale;</li> <li>▪ Valgismo femoro-tibiale DX (5,3°) e varismo femoro-tibiale SX (3°);</li> <li>▪ Modesto appianamento della trochea femorale per displasia con assottigliamento della cartilagine articolare mediale e assottigliamento della cartilagine articolare della rotula;</li> <li>▪ Lasegue SX 80° (sofferenza estensori comuni delle dita);</li> <li>▪ Rot sordo;</li> <li>▪ Medioplantare sofferente;</li> <li>▪ Gonalgia DX.</li> </ul> <p><b>DA ESAME BAROPODOMETRICO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ipercarico avampodalico DX e retro podalico SX in ortostasi;</li> <li>▪ Ipercarico avampodalico bilaterale in dinamica e supinazione anteriore &gt; SX.</li> </ul> <p><b>INTERVENTO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ortesi plantari e rialzo DX 8 mm.</li> </ul>
-------------	--



<p><b>BAWI</b></p>	<p><b>STATO PREGRESSO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ipometria DX 3 cm;</li> <li>▪ Frattura III distale femore DX esposta pluriframmentaria trattata incruentamente con apparecchio gessato pelvi pedidio con inclusione dell'infibulo di K di trazione trans-tibiale;</li> <li>▪ Frattura piatto tibiale SN trattata con bendaggio rigido tipo Jones.</li> <li>▪ Da RX femore DX: accentuata osteoporosi dei capi articolari.</li> </ul> <p><b>ESAME OBIETTIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lombalgia comparto DX</li> <li>▪ Gonalgia DX (probabilmente successiva anche a distorsione);</li> <li>▪ Marcia in zoppia.</li> </ul> <p><b>DA ESAME BAROPODOMETRICO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Piattismo plantare in ipercarico DX supinato; Adduzione podalica dinamica con pronazione mediale DX.</li> </ul> <p><b>INTERVENTO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dal 2009 ortesi plantare bilaterale e rialzo DX di 1,5 cm al retro piede e rieducazione posturale. Attualmente asintomatico.</li> </ul>
<p><b>CAGE</b></p>	<p><b>STATO PREGRESSO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Coxa valga DX sublussata congenita anca DX;</li> <li>▪ Frattura prossimale femore DX sintetizzata cruentamente;</li> <li>▪ Scoliosi DX convessa dorsale e SX convessa lombare con sovraslivellamento dell'ala iliaca DX di 2,6 cm;</li> <li>▪ Ipometria SX 2,6 cm;</li> </ul> <p><b>ESAME CLINICO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Artroprotesi totale anca DX con conseguente coxalgia persistente.</li> <li>▪ Da RMN ginocchio DX: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Basculamento esterno della rotula su terreno displasico con appianamento della troclea femorale.</li> </ul> </li> </ul>

	<p><b>ESAME OBIETTIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Limitata abduzione a causa del dolore;</li> <li>▪ Coxalgia e fascia lata DX in deficit posturale;</li> <li>▪ Deambulazione difficoltosa;</li> <li>▪ Uso di plantare con rialzo SX 5mm al retro piede.</li> </ul> <p><b>DA ESAME BAROPODOMETRICO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Piede pronato;</li> <li>▪ Ipercarico anteriore e &gt; I raggio metatarsale con formazioni ipercheratosiche &gt; DX sintomatiche.</li> </ul> <p><b>INTERVENTO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ KT e ortesi plantari di redistribuzione del carico con rialzo 1 cm SX tutta suola.</li> </ul>
<p><b>CIMO</b></p>	<p><b>STATO PREGRESSO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Da RX rachide dorso-lombo-sacrale (1984): <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lieve accentuazione della cifosi dorsale;</li> <li>- Modesta scoliosi lombare DX convessa;</li> <li>- Lievi alterazioni condrosiche di alcuni metameri dorsali intermedi distali;</li> <li>- Modesta riduzione di ampiezza dello spazio intersomatico presacrale;</li> <li>- Imperfetta saldatura dell'arco di S1 in sede spinosa.</li> </ul> </li> <li>▪ FEBBRAIO 1992: Ricostruzione del LCA SX in esiti traumatici.</li> <li>▪ Da RX della colonna toracica e lombosacrale (1998): <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schisi dell'arco posteriore di S1.</li> </ul> </li> <li>▪ Da RM del rachide lombosacrale (2004): <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificazioni degenerative discali ad L4-L5 (iposegnale nelle immagini T2-dipendenti e debordamento circonferenziale dell'anulus con piccola focalità erniaria posteriore mediana e paramediana DX che impronta il versante anteriore dell'astuccio durale;</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Angioma vertebrale del soma D11;</li> <li>- Dilatazione cistica della tasca radicolare della radice nervosa S2 SX.</li> <li>▪ Da RM lombare (gennaio 2008):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimi fenomeni disidratativi del disco intersomatico L4-L5;</li> <li>- Cisti radicolare ad S1 a SX.</li> </ul> </li> <li>▪ Da RM bacino ed anche (settembre 2008):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Puntiforme alterazione di segnale sottocorticale del profilo anteriore della testa del femore DX in prima ipotesi compatibile con millimetrico incluso condrale.</li> </ul> </li> <li>▪ Da ECO piede SX (novembre 2008):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aspetto ipoecogeno e ispessito della fascia plantare per la presenza di un quadro flogistico cronico.</li> </ul> </li> <li>▪ ECOTOMOGRAFIA coscia DX (dicembre 2008) – materiale a disposizione per approfondimenti.</li> <li>▪ Da TC addome superiore ed inferiore senza e con contrasto (2009):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- In sede annessiale SX formazioni di aspetto cistico e varicocele pelvico SX;</li> <li>- Alterazioni osteostrutturali a carico del soma di D10 compatibile con angioma osseo che interessa circa il 70% del corpo somatico.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>ESAME OBIETTIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lombalgia con riferimento arto inferiore SX;</li> <li>▪ Fascite plantare SX;</li> <li>▪ Limiti estensori ginocchio SX.</li> </ul> <p><b>DA ESAME BAROPODOMETRICO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ In ortostasi e dinamica ipercarico avampodalico &gt; DX in pronazione anteriore bilaterale.</li> </ul> <p><b>INTERVENTO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ortesi plantari e trattamenti osteopatici.</li> </ul>
--	--

<p><b>COBA</b></p>	<p><b>STATO PREGRESSO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Da RX colonna lombo-sacrale e bacino: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Atteggiamento scoliotico SX convesso del rachide lombare con minima rotazione assiale dei metameri;</li> <li>- Ridotta la fisiologica lordosi lombare;</li> <li>- Iniziali note di spondilosi;</li> <li>- Lievi riduzioni in ampiezza dello spazio discale tra L5-S1, soprattutto versante posteriore;</li> <li>- Bacino lievemente inclinato a SX con segni di discreta coxa valga plana sublussata bilateralmente, più a DX;</li> <li>- Tendenza alla rettilineizzazione della fisiologica lordosi e lo spazio intersomatico sul versante posteriore a livello di L5-S1 ridotto.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>ESAME OBIETTIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Piede cavo lasso;</li> <li>▪ Ginocchio valgo bilaterale;</li> <li>▪ Lombalgia con riferimento a SX.</li> </ul> <p><b>DA ESAME BAROPODOMETRICO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ In ortostasi ipercarico avampodalico DX &gt; SX in supinazione &gt; SX;</li> <li>▪ In dinamica piede lievemente addotto DX &gt; SX in ipercarico avampodalico SX &gt; DX e in supinazione.</li> </ul> <p><b>INTERVENTO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ortesi plantari con rialzo SX di 3 mm e trattamento FKT.</li> </ul>
<p><b>COPA</b></p>	<p><b>STATO PREGRESSO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lussazione congenita dell'anca;</li> <li>▪ Da RX bacino (1997): <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modesta asimmetria del cingolo pelvico con tangenti alle teste femorali che si incontrano a 7 mm di distanza (la DX più alta della SX).</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Da RX colonna sotto carico-bacino, in proiezione assiale e spalla DX e SX (2001):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Assenza di lordosi fisiologica cervicale;</li> <li>- Rettificazione con iniziale inversione della curvatura in C5;</li> <li>- Sulla spalla bilateralmente una iniziale sclerosi del solco omerale del CLB (tendinopatia di inserzione).</li> </ul> </li> <li>▪ Da VISITA ORTOPEDICA (2006):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gonalgia bilaterale, sospetta condromalacia delle rotule in ginocchio varo bilateralmente con pronazione di entrambi i piedi.</li> </ul> </li> <li>▪ Da RX ginocchio SX (2007):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Condropatia tibiale di lieve entità.</li> </ul> </li> <li>▪ Da RMN muscolo scheletrica ginocchio SX (gennaio 2008):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tracce di versamento a livello retro patellare;</li> <li>- Corno posteriore del menisco mediale è attraversato da una banda obliqua di alterato segnale con aspetto di lesione completa di III grado IN ESITI NON TRAUMATICI.</li> </ul> </li> <li>▪ Da RMN ginocchio DX (febbraio 2008):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lieve ispessimento del legamento contro laterale;</li> <li>- Lievemente assottigliato il legamento crociato anteriore;</li> <li>- Lesione del III medio e corno posteriore del menisco laterale;</li> <li>- Versamento articolare di minima entità;</li> <li>- Iperpressione esterna della rotula.</li> </ul> </li> <li>▪ SETTEMBRE 2008 meniscectomia mediale selettiva associata a shaving e micropicks alla rotula ginocchio SX.</li> <li>▪ Da VISITA ORTOPEDICA (ottobre 2008):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modesta ipotrofia quadricipite.</li> </ul> </li> <li>▪ Da VISTA ORTOPEDICA (2009):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimo varismo di ginocchio bilaterale con strabismo rotuleo bilaterale;</li> <li>- Condropatia femoro-rotulea bilaterale con ascensione rotulea contrastata;</li> </ul> </li> </ul>
--	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dolenza alla palpazione della emirima mediale con apley + - al ginocchio DX;</li> <li>- Apparente dismetria arti inferiori con DX &gt; SX di circa 1 cm;</li> <li>- Dolore alla mobilizzazione dell'anca DX ai massimi gradi di intra ed extra rotazione con impingement sign +.</li> </ul> <p>ESAME OBIETTIVO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gonalgia bilaterale;</li> <li>▪ Dolore al fianco e all'anca bilateralmente;</li> <li>▪ Lombalgia;</li> <li>▪ Pronazione plantare bilaterale.</li> </ul> <p>DA ESAME BAROPODOMETRICO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ In ortostasi e in dinamica importante ipercarico avampodalico bilaterale &gt; DX pressorio e temporale.</li> </ul> <p>INTERVENTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ortesi plantari con correzione della pronazione del retro piede e barra di scarico retro capitata;</li> <li>▪ Ginnastica e stimolazioni elettriche di potenziamento del muscolo quadricipite (specialmente del vasto mediale);</li> <li>▪ Stretching della fascia lata e flessori e idrochinesiterapia;</li> <li>▪ Terapie fisiche (tecar terapia);</li> <li>▪ Somministrazione di anti infiammatori.</li> </ul>
<p><b>DISA</b></p>	<p>STATO PREGRESSO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Frattura tibia-perone pluriframmentaria DX con esposizione al III medio anteriore del moncone tibiale di circa 2 cm, ferite lacero contuse regione metatarsale antero-mediale I raggio piede DX con lesione tendinea;</li> <li>▪ Intervento di riduzione incruenta e osteosintesi con fissatore esterno assiale alla gamba DX;</li> <li>▪ Da RX gamba DX:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dopo 4 mesi ancora riconoscibile la linea di frattura, scarsa</li> </ul> </li> </ul>

	<p>formazione di callo osseo interframmentaria.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cervicobrachialgia SX con contrattura muscolare del trapezio SX.</li> <li>▪ Da RX gamba DX:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Esiti di frattura dell'apice del malleolo peroneale DX con piccoli distacchi corticali.</li> </ul> </li> <li>▪ Da RX ginocchio DX:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alterazione di segnale da enteropatia inserzionale prossimale del tendine rotuleo;</li> <li>- Alterazione di segnale del corno posteriore del menisco mediale con interruzione della superficie meniscale per tibia.</li> </ul> </li> <li>▪ Da ecografia spalla SX:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Assottigliamento dei fasci più anteriori del tendine del sovra spinoso, compatibile con esiti di lesione parziale da slaminamento, con origine su versamento esterno dell'articolazione.</li> </ul> </li> <li>▪ Da ecografia gamba e caviglia DX:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Legamento peroneo astragalico anteriore e deltoideo sono ispessiti per esiti traumatici;</li> <li>- Postumi di tendinosi del tibiale posteriore con residuo ispessimento della guaina tendinea e segni di enteropatia inserzionale distale, con alcune calcificazioni a livello dello scafoide I cuneiforme.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>ESAME OBIETTIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cervico-algia muscolo-tensiva su base posturale;</li> <li>▪ Spalla SX dolorosa;</li> <li>▪ Gonalgia DX;</li> <li>▪ Limitazione gamba DX con difficoltà alla marcia dinamica;</li> <li>▪ Lieve flessione del capo e rettilineizzazione del tratto cervico-dorsale rigido e ipertonico; positività alle manovre di Romberg; disquilibrio alla marcia cieca e manovra di Neri positiva;</li> <li>▪ Disistesi alle prime dita delle mani;</li> </ul>
--	--

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contrattura in regione paravertebrale lombo-sacrale e limitazione all'articolari� dei movimenti di flessione e rotazione;</li> <li>▪ Limitazione funzionale a range di particolarit� elettivamente alla prono-supinazione e alla retropulsione con sofferenza capsulo-ligamentosa per sovra-spinoso;</li> <li>▪ Deficit della presa della forza della mano SX rispetto al contro laterale e deficit energetico delle dita lunghe;</li> <li>▪ Modesta ipomotropia al III medio quadricipite DX; al ginocchio DX sofferenza al tendine rotuleo e limitazione funzionale del range articolare elettivamente alla flessione-estensione con sofferenza al comparto mediale. Instabilit� antero-mediale post traumatica a DX. Deviazione assiale post traumatica al III medio/III distale di gamba DX con tumefazione a profilo della cresta tibiale;</li> <li>▪ Alla caviglia edema declive perimalleolare, dolorabilit� alla digitopressione al malleolo peroneale con sofferenza capsulo-ligamentosa al comparto esterno per legamento peroneo astragalico anteriore e legamento deltoideo; sofferenza al tibiale posteriore;</li> <li>▪ Marcia in equinismo e talismo;</li> <li>▪ Sono limitate le manovre di accosciamento e di accovacciamento.</li> </ul> <p>DA ESAME BAROPODOMETRICO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ In ortostasi importante ipercarico avampodalico bilaterale &gt; DX in appoggio plantare supinato;</li> <li>▪ In dinamica ipercarico avampodalico DX e retro podalico SX.</li> </ul>
<p><b>HAGI</b></p>	<p>STATO PREGRESSO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Frattura tibia e perone DX sintetizzata con gesso;</li> <li>▪ Da RX colonna in toto e bacino (1989): - Scoliosi SX convessa prevalentemente lombare.</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asimmetria del bacino per ipometria SX di circa 2 cm.</li> <li>▪ Da RX colonna in toto (1994):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Raddrizzamento della fisiologica lordosi rachide cervicale;</li> <li>- Lieve accentuazione della scoliosi rispetto a RX precedente, con lieve torsione dei metameri sul loro asse longitudinale;</li> <li>- Accentuata cifosi dorsale e lordosi lombare;</li> <li>- Assottigliamento spazio discale L5-S1.</li> </ul> </li> <li>▪ Da RX colonna in toto e bacino (1998):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Iniziali note spondilistiche vertebre cervicali;</li> <li>- Assottigliamento spazio discale C3-C4;</li> <li>- Scoliosi DX convessa dorsale e SX convessa lombare più lieve rispetto a indagini precedenti;</li> <li>- Incipienti note spondilistiche diffuse senza osteofiti alle vertebre toraco-lombari;</li> <li>- Ipometria SX circa 1,8 cm.</li> </ul> </li> <li>▪ Da RX ginocchio DX (2001):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Iniziale gonartrosi;</li> <li>- Assottigliamento della rima articolare femoro-tibiale.</li> </ul> </li> <li>▪ Da RX colonna in toto (2002):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lieve accentuazione della scoliosi sopra descritta.</li> </ul> </li> <li>▪ Da RX ginocchio DX (2008):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Appuntimento delle eminenze intercondiloidee e del polo craniale della rotula;</li> <li>- Spigoli del piatto tibiale e dei condili femorali discretamente eversi con discreta riduzione dello spazio articolare femoro-tibiale.</li> </ul> </li> <li>▪ Da RX rachide in toto, bacino e arti inferiori (2009):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lievemente livellate le ginocchia per risalita della DX.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>ESAME OBIETTIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gonalgia ginocchio DX;</li> <li>▪ Metatarsalgia SX III e IV raggio con ipercheratosi in esiti asportazione verruca;</li> </ul>
--	--

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Uso di rialzo a SX.</li> </ul> <p>DA ESAME BAROPODOMETRICO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ In ortostasi ipercarico avampodalico DX e retro podalico SX in rotazione del bacino;</li> <li>▪ In dinamica ipercarico anteriore bilaterale &gt; DX.</li> </ul> <p>INTERVENTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rivalutazione del plantare in uso a SX;</li> <li>▪ Eventuali plantari di redistribuzione del carico;</li> <li>▪ Rieducazione posturale individuale.</li> </ul>
<p><b>PIDI</b></p>	<p>STATO PREGRESSO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Esostosi ginocchio SX operato;</li> <li>▪ Traumi distorsivi alla caviglia non documentati.</li> <li>▪ Da RMN ginocchio SX (giugno 2008):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rotula altoposta con minimo tilt rotuleo esterno;</li> <li>- Panno cartilagineo in sede rotulea caratterizzato da erosioni superficiali;</li> <li>- Minima asimmetria di spessore e segnale come da quadro malacico;</li> <li>- A livello del pivot centrale alterazione di segnale che caratterizza una sofferenza della sinovia iperemia e con secondario parziale mascheramento del LCA;</li> </ul> </li> <li>▪ Da RX rachide e arti inferiori (ottobre 2008):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Riduzione di ampiezza dello spazio intersomatico L4-L5 e L5-S1;</li> <li>- Quadro di piede piatto bilaterale.</li> </ul> </li> <li>▪ Da RX rachide e arti inferiori (dicembre 2008):             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modica scoliosi DX convessa dorsale e SX convessa lombare;</li> <li>- Minima asimmetria delle anche per minimo abbassamento dell'emibacino SX;</li> <li>- Lieve atteggiamento in varo dei capi ossei articolari e del ginocchio;</li> </ul> </li> </ul>

	<p>- Minima asimmetria degli arti per minimo abbassamento dell'arto inferiore SX rispetto al contro laterale.</p> <p><b>ESAME OBIETTIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Riferisce lombalgia con riferimento arto inferiore SX e gonalgia bilaterale;</li> <li>▪ Iperestensione ginocchio SX;</li> <li>▪ Retropiede valgo in importante pronazione SX &gt; DX;</li> <li>▪ Ipercheratosi II raggio metatarsale piede SX.</li> </ul> <p><b>DA ESAME BAROPODOMETRICO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ In ortostasi ipercarico retro podalico SX e avampodalico DX con supinazione anteriore DX;</li> <li>▪ In dinamica ipercarico avampodalico DX in supinazione DX &gt; SX.</li> </ul> <p><b>INTERVENTO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ortesi plantare e trattamento osteopatico con scomparsa definitiva della meta tarsalgia, della gonalgia e parzialmente della dorso-lombalgia.</li> </ul>
<p><b>POGI</b></p>	<p><b>STATO PREGRESSO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dimorfismo arti inferiori;</li> <li>▪ Ginocchio varo e tibia vara;</li> <li>▪ Ipometria apparente DX;</li> <li>▪ Piede cavo.</li> </ul> <p><b>ESAME OBIETTIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cervico-brachialgia SX C5-C6;</li> <li>▪ Lombalgia da sovraccarico senza deficit periferici;</li> <li>▪ Metatarsalgia SX con insufficienza del I metatarso;</li> <li>▪ Esostosi podalica dorsale.</li> </ul> <p><b>DA ESAME BAROPODOMETRICO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ In ortostasi ipercarico avampodalico I raggio SX e retro podalico DX; supinazione DX;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ In dinamica importante ipercarico avampodalico &gt; DX e avampodalico laterale DX.</li></ul> <p>INTERVENTO:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Ortesi plantare di redistribuzione del carico con rialzo DX di 4mm.</li></ul>
--	---

- [1] **HAMILTON W.J., MEZZOGIORNO V.** (1975), *Anatomia dell'uomo* - Redazione italiana a cura di Ettore Pepere. Marrapese editore DEMI, 1975.
- [2] **ANASTASI G., CAPITANI S., CARNAZZA M.L., CINTI S., DE CARO R., DONATO R.F., FERRARIO V.F., FONZI L., FRANZI A.T., GAUDIO E., GEREMIA R., GIORDANO LANZA G., GROSSI C.E., MANZOLI F.A., MAZZOTTI G., MICHETTI F., MISCIA S., MITOLO V., MONTELLA A., ORLANDINI G., PAPARELLI A., RENDA T., RIBATTI D., RUGGERI A., SIRIGU P., SOSCIA A., TREDICI G., VITALE M., ZACCHEO D., ZAULI G., ZECCHI S.** (2008), *Trattato di Anatomia Umana – Quarta Edizione, Volume Primo*. Editore edi-ermes, 2008.
- [3] **CABITZA P., DAOLIO P. A.** (1989), *Ortopedia - Testo atlante*. Cortina Raffaello editore, 1989.
- [4] **BLOEDEL P.K., HAUGER B.** (1995), *The effects of limb length discrepancy on subtalar joint kinematics during running*. J. Orthop Sports Phys Ther 22:60-4, 1995.
- [5] **FRIBERG O.** (1983), *Clinical symptoms and biomechanics of lumbar spine and hip joint in leg length inequality*. Spine 8(6): 643-51, 1983.
- [6] **FRIGO C., CARABALONA R., DALLA MURA M., NEGRINI S.** (2003), *The upper body segmental movements during walking by young females*. Clinical Biomechanics 18, 419-425, 2003.
- [7] **FRIGO C., RABUFFETTI M., KERRIGAN D.C., DEMING L.C., PEDOTTI A.** (1998), *Functionally oriented and clinically feasible quantitative gait analysis method*. Medical & Biological Engineering & Computing, 1998, 36, 179-185.
- [8] **FRYMOYER J. ET AL. EDS.** (1991), *The Adult Spine Principles and Practice*. Raven Press, New York, 1991.
- [9] **GALLI M.** (2007), *L'analisi quantitativa multifattoriale della postura e del movimento*. Dispensa del corso di Laboratorio di Valutazione Funzionale, 2007.
- [10] **GILES L.G.F., TAYLOR J.R.** (1981), *Low-back pain associated with leg length inequality*. Spine 6 (5): 510-21.
- [11] **GIBSON P.H., PAPAIOANNOU T., KENWRIGHT J.** (1983), *The influence on the spine of leg-length inequality after femoral fracture*. J. Bone Joint Surg 1983;65-B:584-7.

- [12] **GOFTON J.P.** (1985), *Persistent low back pain and leg length disparity* - The Journal of Rheumatology. 12(4): 747-50.
- [13] **GOLIGHTLY Y. M., ALLEN K. D., RENNER J. B., HELMICK C. G., SALAZAR A. AND JORDAN J. M.** (2007), *Relationship of limb length inequality with radiographic knee and hip osteoarthritis*. *OsteoArthritis and Cartilage* 2007; 15, 824-829.
- [14] **GRUNDY P.F., ROBERTS C.J.** (1984), *Does unequal leg length cause back pain? A case-control study*. The Lancet. Aug: 256-8.
- [15] **HOIKKA, V. ET AL.** (1989), *Leg-length inequality has poor correlation with lumbar scoliosis*. A radiological study of 100 patients with chronic low-back pain. Archives of Orthopaedic & Trauma Surgery. 108(3): 173-5, 1989.
- [16] **MCCAW S.T.** (1992), *Leg length inequality - Implications for running injury prevention*. Sports Medicine. 14(6): 422-9, 1992.
- [17] **MCCAW S.T. AND BATES B.T.** (1991), *Biomechanical implications of mild leg length inequality*. Br. J. Sp. Med. 25(1): 10-3, 1991.
- [18] **PAPAIOANNOU T., STOKES I., KENWRIGHT M.A.** (1982), *Scoliosis associated with limb-length inequality*. The Journal of Bone & Joint Surgery. 64A(1): 59-62.
- [19] **ROTHENBERG R.J.** (1988), *Rheumatic disease aspects of leg length inequality*. Seminars in Arthritis and Rheumatism. 17(3): 196-205, 1988.
- [20] **SOUKKA A. ET AL.** (1991), *Leg-length inequality in people of working age. The association between mild inequality and low-back pain is questionable [Abstract]*. Spine 16(4): 429-31, 1991.
- [21] **YOUNG R.S., ANDREW P.D., CUMMINGS G.S.** (2000), *Effect of simulating leg length inequality on pelvic torsion and trunk mobility*. Gait and Posture 11:217-23.

## RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato svolto all'interno del laboratorio di Biomeccanica del Movimento e Controllo Motorio del Dipartimento di Bioingegneria del Politecnico di Milano.

Vorremmo ringraziare il Prof. Carlo Albino Frigo, per averci offerto la possibilità di affrontare un tema così complesso e interessante: per noi è stata una grande sfida e uno stimolo continuo e solo grazie alla sua disponibilità e all'attenzione che ci ha rivolto, siamo arrivate soddisfatte alla fine del lavoro.

Inoltre, vorremmo ringraziare l'Ing. Esteban Pavan, per la sua costante presenza, la sua pazienza infinita, il suo supporto tecnico e anche morale. È stato fondamentale trovare, nelle diverse fasi del lavoro, un punto di riferimento tale da permetterci di risolvere le difficoltà incontrate e affrontare tutto con il sorriso sulle labbra.

Un sentito ringraziamento va anche alla Dott.ssa Flaviani, per averci proposto questo campione di soggetti e per averci offerto delucidazioni fondamentali per la definizione dei risultati, confrontandosi con noi anche nelle fasi conclusive del lavoro.

Infine, ringraziamo tutti coloro che ci hanno supportato in questo lavoro e in questi anni accademici.

Alessandra ed Elisa