



Università Degli Studi Di Padova
Dipartimento di Medicina Molecolare

*Corso di Laurea Magistrale in
Scienze Riabilitative delle Professioni Sanitarie
Presidente: Ch.mo Prof. Daniele Rodriguez*

TESI DI LAUREA

**ANALISI DELLA DISTRIBUZIONE DELLE
PRESSIONI PLANTARI IN ETÀ PEDIATRICA**

(Analysis of plantar pressure distribution in children)

RELATORE: Prof.ssa FRIGO ANNA CHIARA

Correlatori: SAWACHA ZIMI, PhD
GUIOTTO ANNAMARIA, PhD

LAUREANDA: Dott.ssa VIALETTO ELISABETTA

Anno Accademico 2015-2016

INDICE

RIASSUNTO

ABSTRACT

INTRODUZIONE1

CAPITOLO 1: ANALISI DELLA POSTURA E DEL MOVIMENTO.....3

1.1 Introduzione all'analisi del movimento umano..... 3

1.2 Ciclo del passo 5

1.3 Baropodometria e sensori di pressione..... 7

CAPITOLO 2: ANALISI DELLE PRESSIONI PLANTARI.....15

2.1 Tecniche e variabili 15

2.2 Analisi della letteratura 15

CAPITOLO 3: MATERIALI E METODI.....19

3.1 Descrizione del Progetto “Sulle Tue Orme” 19

3.2 Campione di studio 20

3.3 Impianto sperimentale..... 21

3.4 Variabili 22

3.5 Analisi statistica 23

CAPITOLO 4: RISULTATI25

4.1 Fasce25

4.2 Report28

4.3 Discussione dei risultati.....29

CONCLUSIONI33

BIBLIOGRAFIA35

APPENDICE

RIASSUNTO

L'obiettivo del presente lavoro di tesi è stato quello di analizzare la distribuzione delle pressioni plantari come segno delle alterazioni posturali in età evolutiva. È stato chiesto ad un campione di 111 bambini (età media 10,3 anni (DS 1,1), BMI 19,9Kg/m² (DS 3,0), n° di scarpa 36,7 (DS 1,8)), frequentanti le Scuole Primarie San Camillo e San Giovanni XXIII nel Comune di Padova, di indossare le solette Pedar-X[®] e di camminare con un'andatura naturale lungo un percorso rettilineo. Tali dati sono stati successivamente elaborati utilizzando il software Pedar-X online[®] ed il programma MATLAB[®] al fine di estrarre per ogni istante del ciclo del passo le seguenti informazioni: pressione massima normalizzata sul peso, pressione media normalizzata sul peso, forza normalizzata sul peso, superficie d'appoggio normalizzata sulla superficie delle solette e COP (*Center of Pressure*) normalizzato sulla superficie delle solette (lunghezza e larghezza).

Per ogni bambino è stato elaborato e consegnato ai genitori un report riassuntivo dei risultati dell'analisi. Ai genitori di 45 bambini con piede piatto, 3 bambini con piede cavo e 7 bambini con altre caratteristiche a rischio è stato consigliato di rivolgersi ad un medico specialista (fisiatra o ortopedico) per ulteriori indagini mediche. Il campione è stato poi suddiviso in gruppi in base alle seguenti variabili: Paese di origine (Africa, Asia ed Europa), Indice di Massa Corporea (sottopeso e normopeso), età (8-9 anni e 10-11-12 anni) e sesso. Per ciascuna di queste variabili sono state elaborate delle fasce rappresentative del campione mediante il calcolo della media e della deviazione standard. Dall'analisi delle fasce è emerso in particolare che gli Asiatici presentano i picchi di pressione maggiori, fattore di rischio legato alle patologie del piede, e che gli Europei presentano un'ampia superficie di appoggio plantare che potrebbe evidenziare una tendenza al piede piatto.

Il lavoro svolto ha permesso di offrire ai bambini un'importante analisi oggettiva rispetto alla qualità dell'appoggio plantare e di segnalare tempestivamente eventuali fattori di rischio legati all'appoggio del piede. L'analisi svolta ha rappresentato uno studio di fattibilità che potrebbe essere utilizzato per stilare dati normativi in età scolastica. Il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca ha deciso di stanziare un finanziamento per l'anno scolastico 2016-2017 in modo che questo tipo di screening venga esteso ad un numero maggiore di Scuole della Provincia di Padova con l'idea che, in futuro, il progetto possa essere attuato a livello nazionale.

ABSTRACT

The aim of the study was to determine if the pressure distribution under the foot can be an evidence of postural disorders in school children. 111 children (mean age 10,3 years (SD 1,1), BMI 19,9 Kg/m² (SD 3,0), EU shoe size 36,7 (SD 1,8)), attending Primary at School San Camillo and San Giovanni XXII in Padua, were asked to wear the Pedar-X[®] insoles and to walk in a corridor at self-selected speed.

Data were then analysed using MATLAB[®]. Maximum pressure, mean pressure and peak vertical force all normalized with respect to body weight were computed, together with the contact surface normalized with respect to the insole surface and the COP normalized with respect to the insole surface (length and width).

A report summarizing the results of the evaluation was prepared for each child and given to the parents. The cases with and higher chance of developing foot diseases were highlighted. Further medical investigations by a specialist (podiatry or orthopaedic) were recommended to the parents of 45 children with flatfoot, 3 with cavus foot and 7 with other characteristics considered as risk factors.

The sample was then subdivided in groups according to the ethnicity (Africans, Asians and Europeans), the BMI (low- and normal-weight), the age (8-9 years and 10-11-12 years old) and the gender. For each of this data a normative band was determined by means of the mean and standard deviation of the data in order to allow comparing the different groups. Results showed that Asians present the highest peaks of pressure, which indicates an increased risk of foot problems, while the Europeans display a wider contact surface, which may be correlated with the development of flatfoot.

The study provided the parents with an objective analyses of the quality of their children plantar aspect during walking thus giving them the possibility to define personalized treatments. The analysis reported here represented a feasibility study and results may be used to obtain normative data about the quality about the quality of plantar loading during walking of school children. The Ministry of Education, University and Research allocated a funding for the school year 2016-2017 in order to extend this screening to a larger number of schools in the province of Padua. In the future the project may be extended nationally.

INTRODUZIONE

Il piede risulta essere una delle leve più piccole e più forti del nostro corpo poiché sostiene un peso grandissimo. Per questo motivo, correggere in tempo un errato appoggio del piede può giovare sotto molti aspetti. Oggi sono molto frequenti i problemi della sedentarietà, della postura e dell'obesità infantile; secondo i dati del Centro per il controllo e la prevenzione delle malattie del Ministero della Salute, infatti, i bambini italiani fanno poco movimento a volte con personale non specializzato, con troppo agonismo e spesso hanno abitudini alimentari sbagliate.

Il Progetto “Sulle Tue Orme”, all’interno del quale si inserisce il progetto di ricerca oggetto di questa tesi, è nato in questo scenario culturale, proponendosi come obiettivo quello di valutare e monitorare la qualità dell’appoggio plantare di un gruppo di ragazzi tra gli 8 e i 12 anni, con l’utilizzo di strumentazioni specifiche disponibili presso il Laboratorio di Bioingegneria del Movimento del Dipartimento di Ingegneria dell’Informazione (DEI) dell’Università degli Studi di Padova. Il Progetto ha coinvolto sette classi di due scuole primarie del VII Istituto Comprensivo di Padova, la San Camillo e la Giovanni XXIII, per un totale di 111 bambini. Di questi 111 bambini, sono state effettuate le acquisizioni su 84 soggetti che presentavano le caratteristiche definite come criteri di inclusione nello studio.

Il presente lavoro di tesi, presentato all’interno del Progetto “Sulle tue Orme” al MIUR (Ministero per la Pubblica Istruzione e la Ricerca) è stato svolto nello specifico con l’obiettivo di valutare la qualità dell’appoggio plantare di questo gruppo di soggetti in età evolutiva. È stato dunque effettuato il rilevamento delle pressioni plantari durante il cammino presso l’istituto scolastico di riferimento e tali dati sono stati successivamente analizzati presso il Laboratorio di Bioingegneria del Movimento del DEI. Infine è stato effettuato un confronto statistico delle pressioni plantari raggruppando i dati rispetto a caratteristiche dei soggetti quali: età, indice di massa corporea (BMI), sesso e continente di origine. Per raccogliere i dati di pressione necessari alla stesura di questa tesi sono stati utilizzati i sensori di tipo capacitivo Pedar-X® (Novel, GmbH).

La tesi è organizzata nei seguenti capitoli:

- **Analisi della postura e del movimento**

Il primo capitolo fornisce le principali definizioni ed i concetti alla base dell'analisi della postura e del movimento; sono descritti i principali obiettivi di questa metodologia di analisi, i dati che è possibile ricavare e quali sono gli strumenti utilizzati. È poi descritto il ciclo del passo in ogni sua fase, con riferimento alla suddivisione proposta dall'autrice J. Perry ed infine sono riportate le caratteristiche dei sensori di pressione e, più nello specifico, quelle delle solette Pedar-X® (Novel, GmbH) utilizzate nel presente lavoro.

- **Analisi delle pressioni plantari**

In questo capitolo sono spiegate le caratteristiche delle solette e sono riportati gli articoli analizzati in letteratura che si riferiscono alla tipologia di analisi effettuata.

- **Materiali e metodi**

Tale capitolo è interamente dedicato alla descrizione delle metodologie di lavoro. Dopo una breve introduzione del Progetto sono quindi descritte le informazioni relative al campione di studio, le caratteristiche dell'impianto sperimentale, le variabili analizzate, le metodologie di acquisizione ed elaborazione dei dati ed infine la tipologia di analisi statistica effettuata.

- **Risultati**

Nel penultimo capitolo vengono descritti e discussi i risultati emersi dalla ricerca. È inoltre presentato un esempio di report così come è stato fornito ai genitori dei bambini coinvolti nello studio.

- **Conclusioni**

In questo capitolo finale sono riportate le conclusioni legate ai dati emersi dallo studio ed al confronto di tali osservazioni facendo riferimento alla letteratura analizzata ed i possibili sviluppi futuri del lavoro.

CAPITOLO 1: ANALISI DELLA POSTURA E DEL MOVIMENTO

1. 1. Introduzione all'analisi del movimento umano

All'interno delle scienze del movimento umano troviamo l'analisi del cammino o *Gait Analysis*, la quale ha lo scopo di raccogliere informazioni sulla meccanica dell'apparato locomotore durante l'esecuzione di un atto motorio (Cappello A., Cappozzo A. e P. E. Di Prampero, 2003). L'analisi del movimento umano risulta essere uno strumento utile grazie alla non invasività, alla ripetibilità in tempi brevi, al carattere quantitativo, al facile utilizzo, ai costi contenuti, alla tridimensionalità, e alla possibilità di analisi integrate e multifattoriali. La *gait analysis* si è rivelata negli ultimi anni uno strumento di notevole importanza in ambito medico, perché può fornire al clinico informazioni quantitative e dettagliate sulla deambulazione e sulla postura ed ha visto ampio impiego anche in ambito sportivo. Essa permette di valutare la qualità di un atto motorio e le alterazioni rispetto ad una situazione di normalità, dando così indicazioni sul livello di funzionalità e sulla evoluzione temporale della condizione di postura e qualità del movimento.

L'informazione che si ricerca attraverso l'analisi del movimento umano riguarda il movimento assoluto del centro di massa dell'intero corpo o di una sua porzione, il movimento assoluto dei segmenti ossei o segmenti corporei, il movimento relativo tra ossa adiacenti (cinematica articolare), le forze e le coppie scambiate con l'ambiente, i carichi risultanti trasmessi attraverso sezioni dei segmenti corporei o portate attraverso articolazioni (carichi intersegmentali), le forze e le coppie trasmesse alle strutture interne (ossa, legamenti, muscoli, tendini), le variazioni di energia dei segmenti corporei, il lavoro e la potenza muscolare. Da queste informazioni si ottengono delle grandezze specifiche che saranno successivamente analizzate con degli appositi modelli matematici morfo-funzionali di tessuti, organi, apparati o sistemi coinvolti nell'analisi (Cappello A., Cappozzo A. e P. E. Di Prampero, 2003).

Questo tipo di analisi avviene attraverso l'utilizzo di apparecchiature sofisticate integrate tra di loro, ed è effettuata presso Laboratori di Analisi del Movimento (*Motion Analysis Labs*). Tali strumentazioni comprendono (Cappello A., Cappozzo A. e P. E. Di Prampero, 2003):

- Sistemi optoelettronici, in grado di misurare le coordinate tridimensionali dei markers posizionati sui segmenti corporei, calcolando le loro traiettorie, grandezze angolari, velocità e accelerazioni.
- Piattaforme di forza, sistemi in grado di misurare il sistema di forze scambiate con il terreno. Conoscendo il sistema di forze scambiate col terreno e acquisita la cinematica, mediante i sistemi optoelettronici, è quindi possibile calcolare i momenti e le potenze alle diverse articolazioni.
- Elettromiografi: sistemi in grado di acquisire il segnale elettrico associato alla contrazione muscolare mediante elettrodi a superficie o ad ago.
- Baropodometria, è una sofisticata metodica di indagine, non invasiva, che consente di misurare la quantità e la distribuzione delle pressioni esercitate su ciascun punto d'appoggio del piede, mediante l'utilizzo di una matrice di sensori opportunamente sagomati. A seconda del tipo di sensore utilizzato (pedane o solette) si hanno varie possibilità di misurare le diverse distribuzioni di pressione (questo aspetto verrà approfondito nel paragrafo 1.3).
- Sistemi di ripresa video, che consentono di osservare un gesto motorio da un punto di vista qualitativo.

Tre dunque sono le tipologie d'informazione che si possono ottenere in un laboratorio di *Gait Analysis*:

- Dati di cinematica: descrizione quantitativa del moto dei corpi, quindi angoli di flessione-estensione, abduzione/adduzione ed extra/intrarotazione delle principali articolazioni e dei principali segmenti anatomici. Le variabili cinematiche (posizione, velocità e accelerazione) sono ottenute tramite i sistemi optoelettronici.
- Dati di dinamica o cinetica: studio delle forze che determinano il movimento, ossia le forze di reazione al suolo, i momenti e le potenze delle articolazioni. Le variabili dinamiche si ottengono tramite la misura delle forze esterne agenti sul soggetto.
- Dati elettromiografici: analisi dei segnali di attivazione muscolare.

1. 2. Il ciclo del passo

Per cammino intendiamo una serie di movimenti ritmici degli arti inferiori, superiori, del bacino e del tronco che, determinando un trasferimento in avanti del centro di gravità, portano, attraverso una serie di traslazioni e di rotazioni dei segmenti ossei e delle articolazioni interessate, allo spostamento del corpo in avanti mantenendo contemporaneamente la stabilità dell'appoggio (Perry J. e Burnfield J. M., 2005). Il modo di camminare è strettamente soggettivo, differisce da un individuo all'altro, tra uomo e donna. Il cammino è un atto complesso, risultante dalle interazioni fra forze interne ma anche esterne al corpo.

Nel momento in cui il corpo si muove in avanti, una gamba serve come supporto mentre l'altra avanza; dopodiché il ruolo dei due arti si inverte. Il ciclo del passo, o "*gait cycle*", è definito dunque come il periodo di tempo da un evento di un piede, al secondo verificarsi dello stesso evento dello stesso piede (Perry J. e Burnfield J. M., 2005); per convenzione, nella *gait analysis*, si utilizza il contatto iniziale del tallone al terreno come evento iniziale (e terminale) del ciclo del passo.

Il *gait cycle* può essere suddiviso in due fasi:

- 1) Fase di appoggio (*stance phase-ST*), durante la quale il piede rimane a contatto con il suolo. Inizia convenzionalmente con il contatto iniziale del tallone e finisce con lo stacco delle dita. L'appoggio, a sua volta, può essere distinto in:
 - Doppio appoggio, *double support* (DS), che è il periodo di tempo in cui entrambi i piedi sono a contatto con il terreno. Si verifica due volte nel ciclo del passo: all'inizio e alla fine delle fasi d'appoggio.
 - Singolo appoggio, *single support* (SS), che coincide con l'arco di tempo in cui un solo piede è a terra ed è esattamente uguale alla fase di oscillazione dell'arto controlaterale.
- 2) Fase di oscillazione (*swing phase-SW*), durante la quale l'arto viene sollevato e portato in avanti per prepararsi all'appoggio successivo.

Perry J. ha sviluppato una terminologia appropriata per le fasi funzionali del cammino, adattabile sia nei soggetti sani che patologici. L'intero ciclo del passo può, secondo l'autrice, essere così suddiviso (Figura 1).

L'accettazione del carico, *weight acceptance*, si ha durante:

- 1) Contatto Iniziale o *Initial contact*, corrispondente al 0-2% del ciclo del passo; questa fase comprende il momento in cui il piede è a contatto con il suolo e l'arto è posizionato in modo da iniziare l'appoggio con il rotolamento del calcagno.
- 2) Risposta al carico o *Loading Response* (0- 10% del ciclo del passo), corrispondente al periodo iniziale di doppio appoggio e continua finché l'altro piede viene sollevato per l'oscillazione.

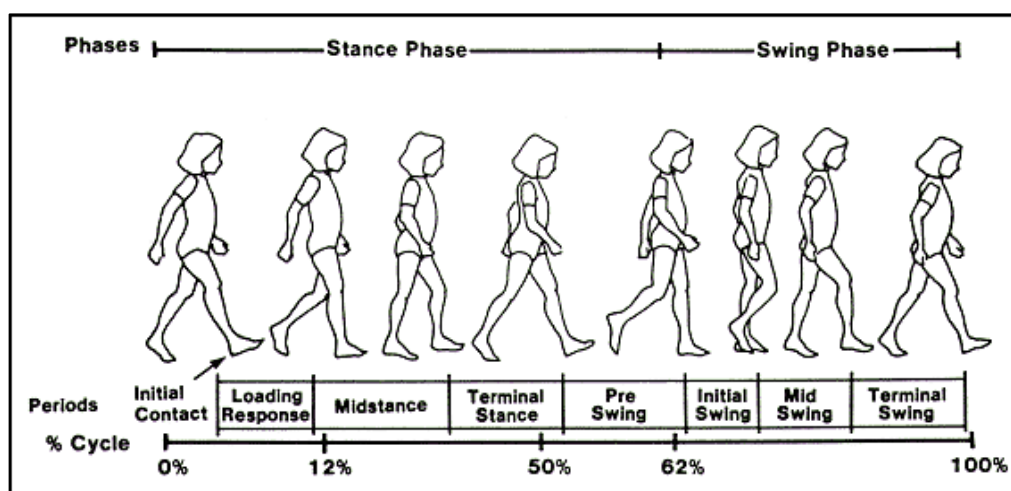


Figura 1 Suddivisione del ciclo del passo secondo J. Perry (2010)

L'appoggio monopodalico, avviene nelle seguenti fasi:

- 1) Appoggio intermedio o *Mid Stance* (10-30% del ciclo del passo), comprendente la prima metà dell'intervallo di appoggio singolo; questo periodo inizia quando il piede controlaterale è sollevato e continua fino a quando il peso del corpo è allineato sull'avampiede.
- 2) Appoggio terminale o *Terminal Stance* (30-50% del ciclo del passo); questa fase conclude l'appoggio singolo (inizia con il sollevamento del tallone e continua finché l'altro piede appoggia al suolo).

L'avanzamento dell'arto, si ha:

- 3) Preoscillazione o *Pre Swing* (50-60% del ciclo del passo), cioè il secondo periodo di doppio appoggio (l'ultimo periodo della fase di *stance*). Comincia con il contatto iniziale del piede opposto e termina con il distacco delle dita dell'arto in appoggio (*toe -off*).

- 4) Oscillazione iniziale o *Initial Swing* (60-73% del ciclo del passo); inizia con il sollevamento del piede dal terreno e termina quando l'arto oscillante è opposto al piede d'appoggio.
- 5) Oscillazione intermedia o *Mid Swing* (73-87% del ciclo del passo); è la seconda fase del periodo di oscillazione. Inizia quando l'arto oscillante è opposto all'arto in carico e termina quando l'arto in oscillazione avanza e la tibia risulta in verticale.
- 6) Oscillazione terminale o *Terminal Swing* (87-100% del ciclo del passo); è la fase finale dell'oscillazione che termina quando il piede prende contatto con il terreno (l'avanzamento dell'arto è completo quando la gamba si trova davanti alla coscia).

Il cammino presenta quattro requisiti essenziali, quali:

- stabilità durante l'appoggio;
- assorbimento dell'impatto;
- progressione dell'energia;
- conservazione dell'energia.

In particolare, la stabilità durante l'appoggio deriva dalla stabilità del piede, dal continuo riallineamento dei segmenti corporei sulla base di appoggio e dal corretto allineamento del tronco. L'assorbimento dell'impatto è favorito dalla flessione plantare dell'articolazione tibio-tarsica, dalla flessione del ginocchio e dall'azione muscolare degli abduzioni dell'anca. Infine alla progressione contribuiscono la caduta in avanti del corpo, il rotolamento del complesso tibio-tarsica-piede e l'oscillazione dell'arto controlaterale.

1. 3. Baropodometria e sensori di pressione

Con il termine baropodometria, nell'ambito della gait analysis, si fa riferimento allo studio del continuo scambio di forze tra le diverse strutture del piede ed il terreno.

Il centro di massa di un sistema complesso di corpi materiali si muove unicamente sotto l'azione delle forze esterne, mentre sul singolo corpo possono agire sia forze interne (scambiate con gli altri corpi del sistema) che forze esterne. Sono forze esterne quelle che il corpo scambia con l'ambiente, tra queste la forza peso. Nel corpo umano le forze interne agenti su un segmento corporeo sono in gran parte determinate dall'azione dei muscoli e dipendono dai vincoli articolari, che sono generalmente complessi. La locomozione e la postura eretta possono essere studiate sia nell'ambiente di vita, mediante strumentazione indossabile, sia in laboratorio, predisponendo camminamenti adeguatamente strumentati,

in ogni caso cercando di non perturbare la libera espressione dell'atto motorio. In ogni tipo di misurazione si deve poi cercare di porsi, per quanto possibile, in condizioni sperimentali note e riproducibili (Cappello A., Cappozzo A. e P. E. Di Prampero, 2003).

Diversi autori si sono occupati in passato di confrontare pedane di pressione fisse e solette baropodometriche indossabili, giungendo alla conclusione che anche le solette sono un adeguato strumento di misura delle pressioni plantari, del COP e della superficie di appoggio del piede, sottolineando tuttavia che l'utilizzo di tale strumentazione potrebbe essere soggetta ad errori metodologici. Sarebbe per questo raccomandato attuare prove multiple (Chesnin K.J., Selby-Silverstein L. e Besser M.P., 2000).

In tutti i casi la soluzione preferibile per la misura delle forze esterne è la strumentazione dell'ambiente con pedane di forza o di pressione, soluzione che evita bardature del soggetto e quindi non disturba l'esecuzione del movimento. Sensori singoli o solette sensorizzate, da porre nelle scarpe, sono invece utilizzati quando si vuole lasciare il soggetto libero di muoversi nel proprio ambiente di vita.

Le tecnologie di trasduzione usate si basano su principi capacitivi, resistivi o piezoelettrici (Cappello A., Cappozzo A. e P. E. Di Prampero, 2003):

- I sensori di tipo capacitivo sono realizzati ponendo due armature metalliche ai lati di un materiale dielettrico elastico il quale, durante l'applicazione di una forza, si deforma e, riducendo la distanza fra le armature, aumenta la capacità. Il materiale elastico è dunque selezionato in modo tale che il rapporto fra la costante dielettrica e lo spessore sia una funzione lineare della pressione. In questo modo la capacità è una funzione lineare della forza globale esercitata su tutta la superficie del sensore, nel campo di variazioni d'interesse.
- I sensori di tipo resistivo si realizzano ponendo due armature metalliche a contatto con il polimero conduttivo; con l'incremento della forza di compressione delle armature sulla superficie polimero, si ottiene una diminuzione della resistenza elettrica, prevalentemente per fenomeni di contatto. Esistono due differenti schemi costruttivi e per quanto riguarda il polimero conduttivo si possono avere realizzazioni in cui questo ha la forma di un foglio oppure è un inchiostro depositato su un supporto isolante.
- Gli ultimi, i sensori di tipo piezoelettrico, non hanno avuto a tutt'oggi una diffusione commerciale significativa.

Durante la locomozione le varie forze, scambiate tra il corpo umano ed il suolo, sono distribuite sotto le varie strutture di supporto del piede. La misura della forza risultante non fornisce però informazioni sul carico sostenuto da ogni singola struttura; per la conoscenza di questi valori sono stati costruiti sistemi di misura con multipli sensori della componente verticale della forza, ovvero sensori di pressione.

Solette Novel GmbH, modello Pedar-X®

Per registrare la pressione plantare si utilizzano dunque principalmente due strumenti: le piattaforme, per le quali esistono diversi modelli in relazione all'obiettivo di studio, e le solette sensorizzate inseribili nelle scarpe, di costruzione più recente. Per questo studio sono state utilizzate le solette del sistema Pedar-X® della Novel GmbH che montano dei sensori di tipo capacitativo. Tale strumento è un sistema di misurazione di alta qualità per registrare la distribuzione delle pressioni plantari all'interno della scarpa (Novel "Pedar X-Manual", Version 24). Pedar-X® è composto da solette sensorizzate, flessibili ed elastiche (ricoprenti l'intera superficie plantare), nelle quali sono inseriti sensori, con particolari forme geometriche, che consentono di monitorare le differenti pressioni esercitate dalle diverse regioni plantari del piede.

Diversi sono i campi d'impiego del sistema Pedar-X®: ricerca, progettazione di calzature e di ortesi e la valutazione durante la fase di riabilitazione. Il sistema Pedar-X® include i seguenti componenti (Figura 2):

- A. Solette sensorizzate
- B. Doppio cavo per collegare le solette al box
- C. Pedar-x box
- D. Cavo a fibra ottica/adattatore USB
- E. Cavo USB
- F. Cintura
- G. Batteria
- H. Cavo della batteria
- I. Carica batterie
- J. Trigger di start/stop
- K. Chiave di protezione Bluetooth
- L. Strappi in velcro
- M. SD Card



Figura 2 Componenti del sistema Pedar

Le solette sono inserite nelle scarpe (Figura 3), e si collegano al Pedar-X box[®] attraverso un cavo; il sistema è alimentato da una batteria. Pedar-X box[®] ha dimensioni e peso ridotti, rispettivamente 150 x 100 x 40 mm e 400 g di peso, quindi, sono inseriti facilmente in una fascia con il velcro (la quale è normalmente fissata attorno alla vita del soggetto testato, in maniera che questo possa muoversi liberamente). Nel caso del sistema utilizzato dall'equipe del Laboratorio di Bioingegneria del Movimento del DEI dell'Università degli Studi di Padova è stato confezionato uno zainetto che contiene Pedar-X[®] box in modo tale che esso sia posizionato direttamente sul dorso del paziente ed interferisca il meno possibile con la qualità del cammino.

Il sistema può essere collegato al computer sia tramite un cavo fibra ottica/USB, sia con modalità wireless (grazie alla tecnologia Bluetooth), oppure può memorizzare nella memoria interna (flash memory da 32MB) e trasmettere al computer successivamente.



Figura 3 Soletta inserita all'interno della scarpa

Le solette hanno uno spessore di 1mm e sono disponibili in diverse taglie, dal numero 22 al 49 (taglia europea), di tre larghezze. Il numero di sensori varia secondo la taglia; le solette per adulti hanno 99 sensori capacitivi, mentre quelle per i bambini ne hanno meno (numero minimo 85); l'affidabilità delle solette 38 non dipende dal numero di sensori. Il range di pressione va da un minimo di 15 kPa ad un massimo di 600 kPa, o da 30 kPa a 1200 kPa. La risoluzione (minima variazione in ingresso che provoca variazioni misurabili in uscita) va da un minimo di 2,5 kPa ad un massimo di 5 kPa, mentre, l'isteresi* è minore del 7%. La raccolta dati e la loro visualizzazione è stata realizzata tramite software Pedar-X online Program®.

Pedar-x program

L'elaborazione dei dati acquisiti è stata eseguita con il software Pedar-X online Program®. Il programma permette: la calibrazione dei sensori, la raccolta e la visualizzazione dei dati in tempo reale. Sulla sinistra della schermata (Figura 4) sono rappresentate la superficie di entrambi i piedi, suddivisa in 99 aree, (corrispondenti ai 99 sensori capacitivi), e per ognuna viene riportato il relativo valore di pressione, misurato in N/cm².

* Fenomeno per il quale il valore di una grandezza è determinato anche dai valori assunti in precedenza

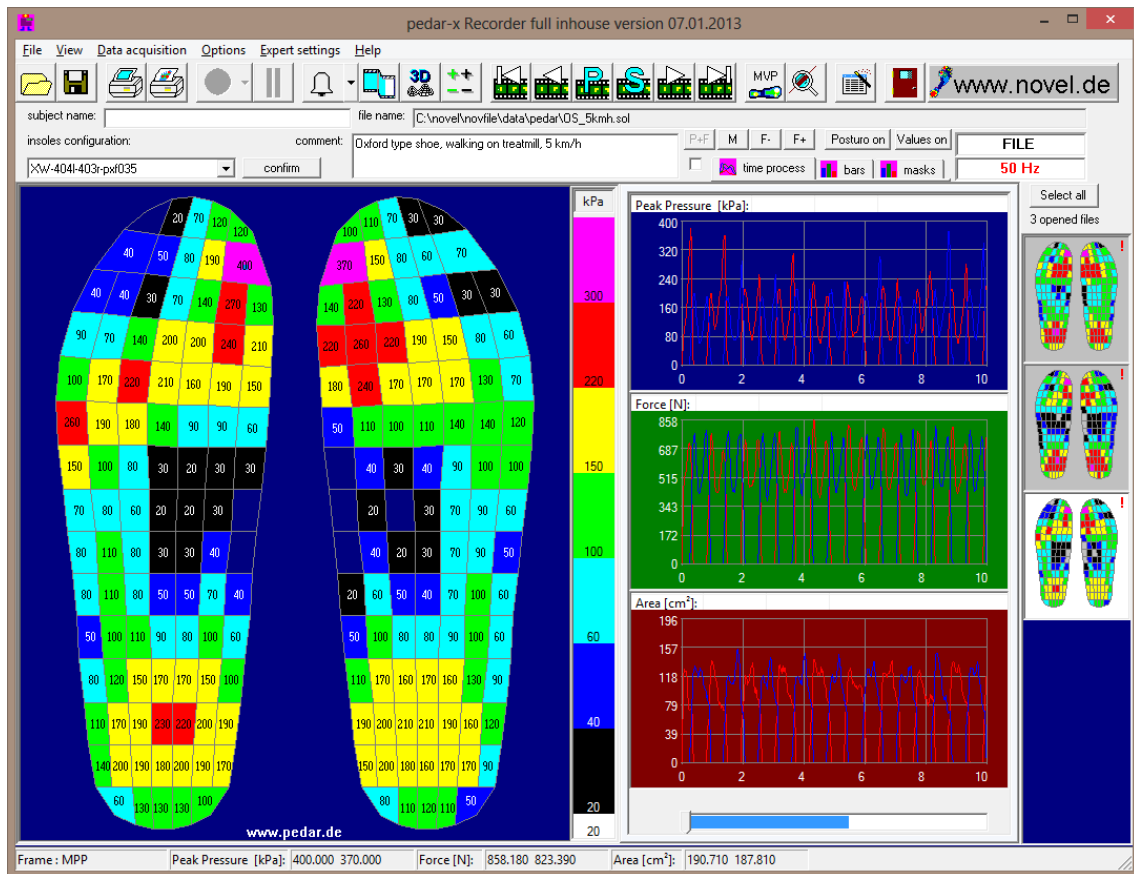


Figura 4 Schermata programma Pedar-x

La differente colorazione dei sensori, consente una rapida e facile distinzione del valore della pressione registrata grazie alla legenda riportata a destra della rappresentazione grafica delle solette. A destra della videata è possibile visualizzare il valore dei picchi di pressione (area blu), dei picchi di forza (area verde) e della superficie di appoggio (area rossa).

Il programma consente di scegliere intervalli temporali specifici da ogni file di acquisizione per analizzare solo determinati fotogrammi (*frames*); tale opzione è stata utilizzata in questo studio. Selezionando la voce “*Step Analysis*” del programma, si apre una finestra contenente una descrizione dettagliata della raccolta dei dati relativi ai passi registrati; questa funzione mostra il numero di passi destri e sinistri, con i relativi valori (forza, lunghezza media e velocità), e consente, pertanto, di eseguire l’analisi di ogni singolo passo. È possibile osservare la traiettoria del centro di pressione e la curva temporale (relativa alla forza e alla pressione); si può, inoltre, scegliere la rappresentazione della pressione di un singolo passo in modalità 2D o 3D. La funzione *step analysis*, oltre ai valori medi, fornisce anche il picco (valore massimo) e le deviazioni

standard di forza e pressione (con i relativi valori di superficie di appoggio) dell'intera camminata; fornisce questi dati sia graficamente (con istogrammi) che numericamente.

CAPITOLO 2: ANALISI DELLE PRESSIONI PLANTARI

2. 1. Tecniche e variabili

Per effettuare l'analisi statistica sono state considerate le seguenti variabili:

- Sesso
- Età (gruppo 8-9 anni, gruppo 10-11-12 anni)
- Statura e peso (con cui è stato ricavato il BMI per suddividere i bambini in sottopeso, normopeso e sovrappeso)
- Numero di scarpe
- Continente di origine (Africa, Asia ed Europa)

Per lo studio dell'appoggio plantare sono stati registrati bilateralmente i seguenti parametri biomeccanici:

- Pressioni plantari
- Forze di reazione al suolo
- Superfici di appoggio del piede
- Centro di pressione (COP)

In questo progetto di tesi è stato necessario l'utilizzo di software per l'analisi dei segnali elaborati dalle solette quali Pedar-X Online[®] e MATLAB[®] (v.2013b).

Il software di acquisizione dati Pedar-X Online[®] è stato presentato nel paragrafo 1.3. e contiene molte opzioni utili e di facile utilizzo per una rapida raccolta dei dati pressori e la loro analisi. MATLAB[®] (abbreviazione di MAtrix LABoratory) è invece un programma della MathWorks per il calcolo, la visualizzazione e la programmazione; questo software consente di manipolare matrici, di visualizzare funzioni e dati, d'implementare algoritmi, di creare interfacce utente e di collegarsi ad altri programmi. MATLAB[®] si è reso necessario per la rielaborazione dei dati, esportati sotto forma di matrici numeriche, dal software Pedar-X[®]. A tale scopo sono state utilizzate delle funzioni create dal team del Laboratorio di Analisi del Movimento del DEI.

2. 2. Analisi della letteratura

In passato gli studi sulla qualità dell'appoggio plantare riguardavano principalmente i soggetti adulti (Cavanagh P., Hewitt F. e Perry J., 1992), tuttavia negli ultimi anni sempre

maggior attenzione è posta sui soggetti in età evolutiva e sui potenziali fattori di rischio legati alle patologie del piede. In linea con il campione di soggetti facenti parte al presente studio, si è deciso di analizzare la letteratura recente individuando articoli riguardanti nello specifico l'analisi delle pressioni plantari nel bambino.

La distribuzione delle pressioni plantari è determinata da diversi fattori quali la struttura anatomica del piede, la massa corporea, il sesso ed il range di mobilità delle articolazioni (Bennett P. e Duplock L., 1993). È importante sottolineare, soprattutto in riferimento al presente lavoro di tesi, che le strutture muscolo-scheletriche del bambino presentano notevoli differenze rispetto a quelle di un adulto e che tale condizione determina conseguenti differenze nel pattern di pressione plantare tra bambini ed individui adulti (Kellis E., 2001).

Il piede del bambino

In particolare nei primi anni di vita, successivamente al raggiungimento della statica e della deambulazione autonoma, la forma del piede ed il pattern di cammino si modificano rapidamente. Comprendere i cambiamenti fisiologici che incorrono nelle estremità inferiori del bambino in età evolutiva, consente di riconoscere precocemente le patologie legate al piede e mettere in atto un intervento precoce. Proprio per il rapido sviluppo che caratterizza i primi anni di vita è considerato normale il fatto che vi siano significative differenze nella forma del piede, ma tale variabilità tende a ridursi man mano che ci si avvicina all'adolescenza. Il piede del bambino è tendenzialmente caratterizzato da un appiattimento della porzione mediale del mesopiede, invece di presentare una cavità tipica dell'arco plantare dell'individuo adulto. Questo appiattimento della volta plantare ha un significato preventivo poiché protegge il sistema scheletrico ancora in via di sviluppo da sovraccarichi dovuti al raggiungimento della statica e del cammino. La presenza di tessuto adiposo a livello del mesopiede aumenta la superficie plantare e garantisce una maggior distribuzione della pressione esercitata sul piede. Il processo di maturazione delle ossa del piede continua infatti fino all'età di 5 anni. Man mano che l'apparato muscolo-scheletrico si sviluppa, il tessuto adiposo viene assorbito ed all'età di 6 anni circa si va a formare l'arco plantare tipico del piede adulto. Oltre ad una notevole modifica della morfologia del piede, nei primi anni di vita si ha inoltre un rapido cambiamento del pattern di cammino e anche in questo caso vi è una notevole variabilità tra individui diversi. Tramite gli strumenti forniti dall'analisi del movimento si è potuto

dimostrare che il contatto iniziale del tallone (*heel strike*) ed il rotolamento del piede (*roll over*) iniziano a modificarsi attorno ai 18 mesi circa. Il pattern di planta- e dorsi-flessione durante l'intero ciclo del passo si evidenzia già durante i primissimi passi senza il supporto dell'adulto, tuttavia la plantaflessione tipica dell'iniziale heel strike è in questa fase precoce ancora assente e la dorsiflessione caratteristica della fase di swing è di minor entità (Sutherland D.H., Olshen R.A., Biden E.N. e Wyatt M.P., 1988). È inoltre necessario sottolineare le ulteriori variabili individuali che sussistono nella crescita e nella maturazione sensomotoria. Cousins S.D. et al. (2012) si sono occupati di verificare l'affidabilità della valutazione delle pressioni plantari durante il cammino a piedi scalzi in un campione di bambini dai 7 agli 11 anni. Tale studio ha verificato l'affidabilità di tale tipologia di valutazione per la maggior parte dei segmenti del piede; minor affidabilità è emersa solamente per la parte terminale delle dita dei piedi.

Uno studio longitudinale in particolare si è occupato di valutare i cambiamenti precoci nel pattern di cammino in seguito al raggiungimento della deambulazione autonoma attraverso la misura della distribuzione delle pressioni plantari (Bertsch C., Unger H, Winkelmann W. E Rosenbaum D., 2004). Ciò che è emerso da tale studio è la notevole modifica dei patterns di pressione plantare. Sono emersi cambiamenti significativi nella risposta al carico in tutte le regioni del piede ed è stato inoltre possibile dimostrare un notevole cambiamento della morfologia del piede attraverso la registrazione di un cambiamento nella superficie di appoggio del piede e nelle pressioni agenti a livello del mesopiede. In secondo luogo, anche la linea dello svolgimento del passo si è notevolmente modificata, evidenziando un miglioramento del controllo motorio durante il ciclo del passo.

Non sono stati trovati numerosi studi che mettessero in relazione la distribuzione delle pressioni rispetto al sesso in età evolutiva, tuttavia autori come Chiu M. ed al (2013) hanno evidenziato differenze nell'andamento del centro di pressione tra maschi e femmine in età adulta. Numerosi autori si sono occupati invece di valutare l'influenza del peso e dell'indice di massa corporea sulla tipologia di piede e di evidenziare i fattori di rischio presenti in particolare nei bambini sovrappeso. Dagli studi di Mueller S. et al (2016) e di Dowling A.M. et al (2004), è emerso che i bambini obesi presentano una superficie di appoggio maggiore e più alti picchi di pressione soprattutto a livello del mesopiede; vi è pertanto un maggior rischio per tale soggetti di sviluppare patologie legate al piede.

Infine alcuni autori quali Chuckpaiwong et al. (2008) e Kellis E. (2001) sono andati a valutare la qualità dell'appoggio plantare durante diverse attività funzionali quali cammino, corsa e atterraggio da un salto. Da questi studi è emerso in particolare che vi è differenza tra pressioni plantari in statica rispetto alla dinamica. Tale aspetto merita di essere preso in considerazione come spunto di riflessione nel momento in cui si va a valutare il piede del bambino al fine di predisporre un plantare.

CAPITOLO 3: MATERIALI E METODI

Il presente protocollo di studio è stato svolto grazie alla collaborazione tra il Dipartimento di Medicina Molecolare, il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università degli Studi di Padova ed il VII Istituto Comprensivo di Padova. L'obiettivo del presente lavoro è stato quello di valutare la qualità dell'appoggio planare di un campione di soggetti in età evolutiva ed effettuare una correlazione statistica rispetto ad alcune caratteristiche dei soggetti quali: età, BMI, sesso e continente di origine.

Nel presente capitolo saranno illustrate le caratteristiche del Progetto ed i criteri di inclusione dei soggetti esaminati, il protocollo di acquisizione delle pressioni plantari, le variabili analizzate ed infine l'analisi statistica.

3. 1. Descrizione del Progetto “Sulle Tue Orme”

Il **Progetto “Sulle Tue Orme”** (Figura 5), all'interno del quale si inserisce il nostro progetto di ricerca, è nato in questo scenario culturale, proponendosi i seguenti obiettivi:

- Valutare e monitorare gli alunni sulla qualità dell'appoggio plantare, con l'utilizzo di strumentazioni specifiche.
- Concentrarsi sull'impostazione del corretto movimento del piede in fase di appoggio e sull'idea che attraverso il gioco, la corsa e lo sport, secondo una sana filosofia di vita, ogni bambino potrà conoscersi, sperimentarsi e riconoscere il valore delle proprie azioni per crescere meglio verso un futuro migliore.
- Migliorare le conoscenze dagli alunni, implementando l'orario curricolare con la seconda ora di Educazione Fisica, sia per insegnare agli alunni la giusta impostazione della corsa e le diverse forme sportive (l'orienteeing, l'atletica leggera, i giochi sportivi di squadra come pallamano, basket, calcio, rugby ed hockey, sia per raggiungere un corretto sviluppo delle capacità motorie, fondamentali per un adeguato sviluppo psicofisico del bambino.
- Rieducare alla corretta postura attraverso la presenza di specialisti laureati in Scienze Motorie che vanno, dove necessario, alunno per alunno, a valutare e consigliare esercizi appropriati per il miglioramento dell'assetto posturale utilizzando lo spazio/palestra pomeridiano della scuola (in orario extracurricolare), organizzando corsi di ginnastica posturale.

- Creare negli alunni, nei genitori e negli insegnanti delle altre discipline scolastiche una cultura motoria e sportiva come prevenzione degli infortuni e miglioramento dell'assetto posturale, promuovere una consapevolezza corporea che risponda positivamente ai bisogni psicofisici del bambino inerenti la motricità sportiva e i limiti personali da raggiungere, una corretta alimentazione in funzione della vita e dello sport, gli scambi interpersonali di accettazione delle diverse abilità, compresa la disabilità e le differenze culturali e sociali.
- Predisporre un coordinamento fra gli attori dell'educazione sportiva scolastica degli alunni, i professionisti specializzati in postura quali Diplomatici ISEF e/o Laureati in Scienze Motorie come esperti nelle ore di educazione fisica in classe ed in orario extracurricolare e l'equipe del Laboratorio di Analisi del Movimento del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (Università degli Studi di Padova) che, attraverso strumenti altamente tecnologici e assolutamente non invasivi, fornisce report che vanno a valutare la qualità dell'appoggio plantare in età evolutiva.



Figura 5 Logo del progetto

3. 2. Campione di studio

Il Progetto ha coinvolto sette classi di due scuole primarie del VII Istituto Comprensivo di Padova, la San Camillo e la Giovanni XXIII, per un totale di 111 bambini (età media 10,3 anni (DS1,1), BMI 19,9Kg/m² (DS 3,0), n° di scarpa 36,7 (DS 1,8)). Di questi 111 bambini, 84 sono rientrati nello studio poiché rientravano nei seguenti criteri di inclusione:

- frequenza in una delle seguenti classi: 1A, 5A o 5B della Scuola Primaria San Camillo oppure 2B, 3A, 4 B o 5B della Scuola Primaria Giovanni XXIII;

- firma da parte dei genitori del consenso dopo avere letto la lettera informativa (Appendice A);
- tipologia e numero di scarpa in cui fosse possibile inserire una soletta Novel compresa tra il n. 35 ed il 41.

Il campione è stato un campione di convenienza e non un campione definito ad hoc rispetto alle finalità dello studio. Ai fini comparativi è stato utilizzato come gruppo di controllo un gruppo di bambini, valutati come piede normale dal medico ortopedico, ai quali è stata fatta la medesima analisi del presente lavoro di tesi utilizzando lo stesso impianto sperimentale. Il gruppo di controllo era costituito da bambini del medesimo range di età e con BMI compatibile rispetto al campione oggetto di studio.

3. 3. Impianto sperimentale

Ai genitori di tutti i soggetti partecipanti allo studio è stata fatto firmare il Consenso Informato (all'interno del Protocollo n. 3493/AO/15 approvato dal Comitato Etico dell'Azienda Ospedaliera di Padova), nella quale venivano espone modalità, obiettivi, strumenti e finalità dello studio. Come già riportato nel paragrafo 3.2, la firma di tale consenso informato da parte dei genitori dei bambini è stato uno dei criteri di inclusione dei soggetti stessi nello studio.

Avvenuta la raccolta delle lettere di consenso informato, sono stati raccolti tutti i dati dei bambini necessari alla valutazione ed all'analisi statistica con la collaborazione delle Insegnanti di riferimento per ogni classe e della Coordinatrice del Progetto "Sulle Tue Orme", la Prof.ssa Fanzago Rosa.

Le acquisizioni delle pressioni plantari di ciascun bambino sono state svolte in collaborazione con l'equipe del laboratorio di Bioingegneria del Movimento (Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione-Università degli studi di Padova), presso le Scuole di appartenenza dei bambini stessi (San Camillo e Giovanni XXIII), nelle quali sono state portate le strumentazioni di proprietà del laboratorio necessarie a svolgere le acquisizioni.

Le acquisizioni sono state effettuate durante le ore curricolari chiamando gruppetti di bambini per classe in una delle aule comuni della scuola sotto la costante sorveglianza da parte delle maestre. Sono state fatte togliere ai bambini le scarpe per inserire le solette del numero corrispondente, rimesse le scarpe e fatto portare in spalla lo zainetto contenente

il Pedar-X® box (peso indicativo inferiore ad 1 kg). È stato poi chiesto a ciascun bambino di camminare con un'andatura naturale lungo un percorso rettilineo per una distanza di 12 metri circa compiendo andata e ritorno al punto di partenza, facendo ripetere il compito qualora vi fossero stati fattori di disturbo durante l'acquisizione (ad esempio altri bambini che interferivano con la camminata) o evidente alterazione del pattern di cammino a causa di fattori emotivi (come ad esempio ansia da prestazione o da svolgimento di una specifica richiesta da parte di un estraneo). A ciascun bambino è stato chiesto di camminare fino a che non venivano acquisiti 10 cicli del passo sia per il piede destro che per il sinistro.

3. 4. Variabili

La registrazione del segnale è stata effettuata utilizzando il software Pedar-X® dedicato e successivamente elaborata utilizzando il medesimo software e MATLAB®. In questa fase sono stati registrati i dati già elencati nel paragrafo 2.1: pressioni plantari, forze di reazione al suolo, superfici di appoggio del piede, centro di pressione (COP).

Da Pedar-X® sono stati estratti per ogni soggetto file “.asc” (contenenti i valori tutti i sensori), mentre dalla funzione step analysis sono stati estratti i file “.gtc” (contenenti tutti i tempi di ciascun passo). Questi due files sono stati quindi convertiti in “Cartella di lavoro Excel97-2003” per poter essere elaborati e lanciati con MATLAB®. Per l'elaborazione dei dati Pedar il programma MATLAB® ha utilizzato codici di elaborazione creati dal Laboratorio di Bioingegneria del Movimento del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, attraverso cui sono stati estratti per ogni istante del ciclo del passo di ogni passo studiato:

- Pressione massima normalizzata sul peso
- Pressione media normalizzata sul peso
- Forza normalizzata sul peso
- Superficie d'appoggio normalizzata sulla superficie della soletta
- COP normalizzato sulla misura delle solette (lunghezza e larghezza)

I dati di ogni variabile sono stati ricampionati in modo da ottenere delle curve in % della fase di appoggio. In questo modo la camminata di ogni soggetto era descritta quantitativamente dalle variabili estratte ed è stato possibile raggruppare i dati dei soggetti rispetto alle variabili (età, BMI, numero di scarpe, paese di origine) in modo da creare

delle fasce (delimitate superiormente e inferiormente dai valori di media più e meno 1 deviazione standard).

Sovrapponendo i grafici delle variabili dei gruppi tra loro e alle fasce di normalità corrispondenti create con i dati di un gruppo di controllo è stato effettuato un confronto grafico diretto con l'obiettivo di evidenziare eventuali differenze tra i gruppi.

3. 5. Analisi statistica

Come ultimo passaggio si è eseguita l'analisi statistica. I risultati relativi alle variabili quantitative sono stati riassunti descrittivamente riportando media e deviazione standard, mentre per le variabili categoriali è stato riportato il conteggio e la percentuale di soggetti presenti in ogni categoria. È stato poi effettuato il test chi-quadrato per valutare l'associazione tra variabili categoriali o rese tali.

Sono state quindi confrontate le caratteristiche biomeccaniche del ciclo del passo sopra citate (pressione plantare, COP, picchi di forza e superficie di appoggio del piede) dei vari gruppi, tra loro e con dei soggetti di controllo.

Il gruppo di controllo era costituito da 10 bambini di origine Europea, tutti di sesso maschile con età media 9,8 anni (DS 2,2), BMI medio 18,4 (DS 1,4) e numero di scarpe medio 36,6 (DS 2,1). Tali soggetti, reclutati per precedenti progetti di ricerca svolti dal Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione (Università degli Studi di Padova), sono stati visitati da un medico ortopedico il quale li ha classificati come "piede normale". L'acquisizione delle variabili quantitative legate al ciclo del passo è stata fatta nel 2014 durante precedenti progetti di ricerca presso il laboratorio di Bioingegneria del Movimento del DEI con la medesima strumentazione e lo stesso protocollo di acquisizione.

I confronti sono stati condotti con il test di Student per campioni indipendenti o il test ANOVA seguito dal test t di Student per campioni indipendenti adottando la correzione di Bonferroni per tenere conto dei confronti multipli. Per tutti i test statistici è stato considerato un valore di significatività pari al 5% ($P \leq 0,05$).

CAPITOLO 4: RISULTATI

In questo capitolo saranno sintetizzati i risultati. Nella Tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche del campione oggetto di studio.

	Africani (n=22, 27%)	Asiatici (n=12, 14%)	Europei (n=49, 59%)
Età [anni]			
media (DS)	10,0 (1,3)	10,3 (1,2)	10,5 (0,9)
Gruppi per età			
8-9/≥10 n (%)	8/14 (36/64)	3/8 (27/73)	8/41 (16/84)
BMI [Kg/m²]			
media (DS)	19,3 (3,1)	19,6 (3,1)	18,6 (2,9)
Condizione BMI			
sottopeso/normopeso/sovrappeso n (%)	9 /12/1 (41/55/4)	6/6/0 (50/50/0)	28/20/1 (57/41/2)
Sesso			
F/M n (%)	10/12 (45/55)	5/7 (42/58)	23/26 (47/53)
Misura della scarpa			
media (DS)	37,5 (2,1)	36,2 (1,7)	37,2 (1,3)
Tipo di piede			
piatto/nella norma/arcuato/altro n (DS)	13/7/1/1 (59/31/5/5)	7/2/0/3 (58/17/0/25)	25/19/2/3 (51/39/4/6)
Durata media del ciclo del passo [s]			
media (DS)	1,08 (0,14)	1,05 (0,14)	1,05 (0,12)
Durata media della fase di appoggio [s]			
media (DS)	0,65 (0,10)	0,65 (0,12)	0,65 (0,10)
Durata media della fase di volo [s]			
media (DS)	0,43 (0,08)	0,40 (0,08)	0,40 (0,09)

Tabella 1 Caratteristiche demografiche e parametri spazio-temporali dei soggetti coinvolti nello studio

4. 1. Fasce

Continente d'origine

Considerata la composizione multietnica dei bambini frequentanti l'Istituto Comprensivo coinvolto nello Studio, si è deciso di raggruppare i bambini in base al loro continente di origine per verificare se e come tale fattore influenzasse le caratteristiche dell'appoggio plantare (Tabella 1). Come già sottolineato in precedenza, il campione di bambini è stato deciso dai referenti scolastici del Progetto. Non è stato possibile dunque effettuare un campionamento che tenesse conto delle caratteristiche degli individui in modo da creare gruppi omogenei di soggetti.

A seguito di questa suddivisione sono state elaborate le fasce dei soggetti e del gruppo di controllo riportate nella Tabella 2.

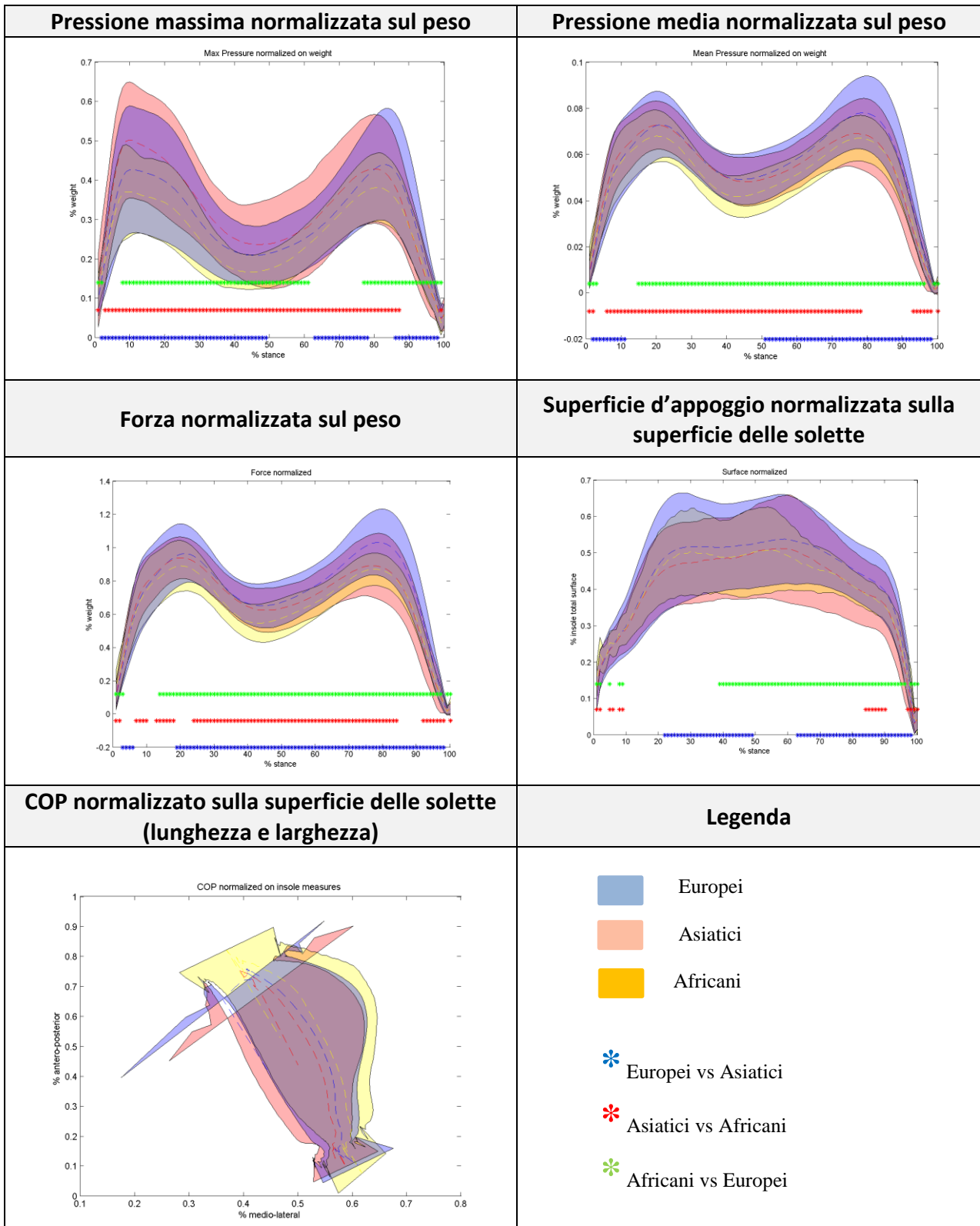


Tabella 2 Nella seguente tabella sono riportate le fasce relative al confronto tra i bambini provenienti dai tre diversi continenti.

Sesso

Sono state poi valutate le differenze in base al sesso. A seguito di questa suddivisione sono state elaborate le fasce dei soggetti e del gruppo di controllo riportate in Appendice B, C e D.

Età

Sulla base della numerosità del campione si è deciso di suddividere il gruppo di soggetti in due fasce d'età: la prima comprende i bambini di 8 e 9 anni, mentre la seconda i bambini di 10 anni ed oltre. Solo il gruppo di bambini Europei garantiva una numerosità tale da poter fare un confronto significativo, mentre per gli altri continenti di origine tale confronto non è stato eseguito. Tali fasce sono riportate in Appendice E.

Body Mass Index

Il Body Mass Index (BMI), è un valore indicativo rispetto alla massa di un soggetto e si ottiene dividendo il peso corporeo (espresso in kg) per la statura (in metri) elevata al quadrato. Per la definizione del BMI sono stati utilizzati i parametri forniti dal Ministero della Salute, riportati in Tabella 3.

Nella maggior parte dei casi, le stime del BMI sono attendibili rispetto all'indicazione della quantità di massa grassa, tuttavia è bene sottolineare che la massa grassa di un bambino varia con l'età e che maschi e femmine la sviluppano in modo diverso nel corso della loro maturazione.

BMI	CONDIZIONE
<16.50	Grave magrezza
16,50-18,49	Sottopeso
18,50-24,99	Normopeso
25,00-29,99	Sovrappeso
30,00-39,99	Medio grado
≥40	Obesità di alto grado

Tabella 3 Parametri di riferimento per la valutazione del BMI consultabili sul sito www.salute.gov.it

Non è stato eseguito il confronto per i “sovrappeso” in quanto il numero di bambini, pari a 4, non consentiva di compiere un'analisi statistica. Per questo motivo sono stati considerati solo due gruppi nominati “sottopeso” ($BMI \leq 18.5$) e “normopeso” ($18.5 < BMI \leq 25$).

Sport praticato

Sebbene lo sport praticato da ciascun bambino fosse stato un dato richiesto alle insegnanti ed alla referente del progetto interna all'Istituto Comprensivo, non è stato possibile rilevare tale informazione a causa di una non totale adesione al Progetto da parte degli insegnanti.

Valutazione odontoiatrica

In parallelo rispetto all'acquisizione della distribuzione delle pressioni plantari, un team di studenti del Corso di Laurea in Odontoiatria e Protesi Dentaria, guidato dal Dott. Gracco, ha effettuato una valutazione odontoiatrica sulle discrepanze trasversali delle arcate dentarie. I dati emersi da tale valutazione sono stati elaborati in modo indipendente rispetto al presente lavoro di tesi.

4. 2. Report

Per ogni bambino è stato elaborato e consegnato ai genitori un report nel quale sono stati riportati i dati identificativi del bambino ed i risultati delle acquisizioni effettuate con le solette Pedar-X[®], quali:

- Immagine delle pressioni in dinamica con la linea del centro di pressione;
- Dati relativi a periodo del passo, tempo di appoggio, pressione massima, forza massima e superficie massima durante il ciclo del passo;
- La fascia di ogni soggetto calcolata su una media di 10 passi sovrapposta alle fasce del gruppo di controllo di bambini con pari età e BMI;
- Breve descrizione della tipologia di appoggio del piede con l'eventuale indicazione di eseguire un controllo ortopedico/fisiatrico.

L'Appendice I rappresenta un esempio di uno degli 83 report forniti ai genitori a progetto concluso in cui veniva descritta la tipologia del piede definita attraverso l'analisi plantare con l'eventuale consiglio di approfondimento medico.

Tipologia di piede

Da tali report è stato possibile ricavare la tipologia di piede di tutti i soggetti del campione attraverso un'analisi qualitativa delle impronte di pressione e dell'andamento del COP. Questi dati sono riassunti nella Tabella 1.

Altre indicazioni sul piede sono relative alla posizione del tallone (calcagno valgo o varo) oppure alla tendenza a mantenere le dita in griffe.

4. 3. Discussione dei risultati

Il presente lavoro di tesi aveva come obiettivo l'analisi dell'appoggio plantare come segno delle alterazioni posturali in un campione di 111 bambini (età media 10,3 anni (DS1,1), BMI 19,9Kg/m² (DS 3,0), n° di scarpa 36,7 (DS 1,8)) frequentanti la scuola primaria presso la Scuola San Camillo o la scuola San Giovanni XXIII del VII Istituto Comprensivo di Padova. Solo 84 bambini sul totale hanno dato l'adesione per partecipare al progetto e sono rientrati nei criteri di inclusione previsti. L'adesione non è stata totale e questo è dipeso principalmente da un fattore socio-culturale, in particolare di non comprensione linguistica da parte di genitori stranieri del progetto e della liberatoria da firmare.

Come già sottolineato non è stato possibile definire a priori il campione di soggetti su cui effettuare l'analisi poiché le classi partecipanti allo studio sono state definite a monte del Progetto "Sulle tue Orme" dalla coordinatrice Rosa Fanzago. Naturalmente sarebbe stato opportuno effettuare un'indagine preliminare sulle caratteristiche del campione oggetto di studio e creare dei gruppi omogenei ai fini di una più corretta analisi statistica. Per la stesura di uno studio volto a fornire dati normativi sarebbe opportuno effettuare un campionamento più adeguato reclutando gruppi omogenei di soggetti.

I risultati di questa analisi hanno comunque permesso di evidenziare la presenza di 45 bambini con piede piatto, 3 bambini con piede cavo e 7 bambini con altre caratteristiche a rischio legate al calcagno che sono state segnalate ai genitori con il consiglio di effettuare un ulteriore approfondimento medico.

Un importante spunto di riflessione è stato il calcolo dell'indice di massa corporea. Il fatto che ci fossero solo 4 bambini sovrappeso mentre il numero di bambini sottopeso fosse molto elevato risulta infatti essere un parametro molto importante poiché fornisce una panoramica rispetto alla tipologia di Scuole in cui è stato preso il campione di bambini e fornisce un campanello di allarme rispetto alla condizione di salute dei bambini. Attualmente spesso si sente parlare di campagne di screening per la prevenzione del rischio di bambini sovrappeso e diabetici, mentre nelle scuole considerate il problema

presentato è stato l'esatto contrario, con un'elevata percentuale di bambini a rischio di malnutrizione o di anoressia.

Entriamo ora nel dettaglio rispetto ai dati emersi dalle fasce. Considerato che la popolazione studiata è multietnica, è stato necessario creare delle fasce omogenee in base al Paese di origine dei soggetti coinvolti nello studio, in modo da poter confrontare le caratteristiche dell'appoggio plantare tra gruppi di bambini proveniente da Paesi diversi.

Fasce sulla base del Paese di origine

I bambini Europei presentano dei picchi di forza elevati rispetto ad Africani ed Asiatici. Non è stato possibile verificare tale ipotesi ma si presume che i bambini Europei, praticando più attività fisica strutturata, potrebbero aver sviluppato una maggior forza nel gastrocnemio e che tali picchi derivino da questa condizione.

Dall'analisi delle fasce è emerso in particolare che gli Asiatici presentano i picchi di pressione maggiori, fattore di rischio legato alle patologie del piede e che gli Europei presentano un'ampia superficie di appoggio plantare che, nello specifico, è indice di tendenza al piede piatto.

Fasce sulla base dell'età

Tale fasce sono state calcolate solo per quanto riguarda il gruppo di Europei. Come ci si poteva aspettare il gruppo di bambini più grandi risulta avere una spinta maggiore, dovuta al maggior sviluppo muscolare. Tuttavia emerge che i bambini più piccoli hanno una linea del passo che arriva più anteriormente, ovvero che tale gruppo arriva a concludere la fase di *stance* spingendo di alluce, indice funzionale positivo. È tuttavia da sottolineare che la differenza rispetto al gruppo più grande è minima.

Fasce sulla base del sesso

Per tutti e tre i gruppi di origine le bambine presentano picchi di forza maggiori. Tale risultato potrebbe essere determinato da uno stadio più avanzato di sviluppo delle femmine rispetto ai maschi.

Considerando nello specifico i bambini Europei, le femmine risultano avere dei picchi di pressione maggiori, fattore che potrebbe indicare anche uno schema del passo più

consolidato ed un funzionamento migliore dei muscoli tibiale anteriore e gastrocnemio. In Asia ed in Africa la condizione risulta essere meno marcata ma il trend è analogo.

Fasce sulla base del BMI

Se si considerano i bambini sottopeso, essi presentano una maggior forza in carico ed una maggior pressione, entrambe in percentuale del peso, rispetto ai bambini normopeso. Ci si sarebbe aspettato un comportamento inverso, ovvero che i sottopeso avessero una minor forza in carico rispetto ai bambini normopeso, tuttavia i bambini sottopeso presentano una superficie di appoggio minore rispetto ai normopeso. Questo potrebbe essere dovuto alla conformazione del piede più magro. Questa condizione è simile per i bambini di tutti e tre i Paesi di origine.

Nelle fasce (Appendice F, G ed H) viene inoltre indicato l'andamento del COP, ovvero la linea dello svolgimento del passo, in entrambe le direzioni (medio-laterale ed antero-posteriore). Ci si aspetterebbe che il centro di pressione, che è normalizzato sul numero di piede, avesse un andamento più linearizzato per i sottopeso. Questo non è riscontrabile nelle fasce ma ciò che si nota è che i sottopeso hanno un appoggio più mediale e più corto nella direzione anteroposteriore. Anche questo è un andamento anomalo perché, se si considera la forza di reazione al suolo, i sottopeso hanno un'augmentata forza in fase di spinta. Sarebbe necessario approfondire questi risultati e valutare se si tratti effettivamente di una maggior spinta a livello muscolare messa in atto dai bambini sottopeso (ipotesi meno probabile) o se tale comportamento derivi da una maggior cedimento dell'arco plantare del piede.

Sport praticato

Sebbene sarebbe stata un'informazione molto rilevante, non è stato possibile rilevare il tipo di sport praticato dai bambini ed esplorare quindi l'impatto di tale condizione sulla qualità dell'appoggio plantare.

Sicuramente questo sarebbe stato un fattore rilevante nel confronto tra i bambini provenienti da diversi paesi perché si potrebbe verosimilmente ipotizzare che i bambini europei, data la condizione culturale ed economica, abbiano maggiori possibilità di effettuare sport durante le ore extrascolastiche e che dunque il loro sviluppo muscolo-scheletrico sia influenzato da tale condizione.

Valutazione odontoiatrica

Come precedentemente sottolineato, l'analisi dei dati emersi dalla valutazione odontoiatrica è stata effettuata in maniera indipendente rispetto all'analisi degli appoggi plantari. In uno studio futuro sarebbe interessante approfondire se e come le caratteristiche delle arcate dentarie vadano ad influire sulla qualità dell'appoggio, argomento per altro già di interesse nel campo scientifico.

Il confronto finale effettuato è stato un ottimo spunto di confronto tra le metodologie di lavoro proprie dell'analisi del movimento e gli strumenti di lavoro utilizzati nel campo della statistica. In particolare è emersa l'idea di costruire le fasce indicando l'intervallo di confidenza in modo da evidenziare a livello visivo le differenze che sussistono nei diversi gruppi. Per poter apprezzare maggiormente tale aspetto sarebbe stato necessario svolgere un'analisi multivariata considerando che tutti i parametri analizzati sono interdipendenti.

CONCLUSIONI

Il lavoro di tesi, inserito in un progetto molto più ampio di ginnastica posturale e attività ludico-sportive proposto a livello scolastico, ha permesso di offrire ad un ampio numero di bambini un'importante analisi oggettiva rispetto alla qualità dell'appoggio plantare, fornendo la possibilità da una parte di segnalare ai genitori eventuali fattori di rischio per agire tempestivamente ed a livello preventivo sullo sviluppo futuro di patologie legate al piede, dall'altra di fornire un valido strumento di monitoraggio per coadiuvare la stesura di programmi di ginnastica posturale ad hoc da parte degli esperti di educazione motoria scolastici o per la produzione di plantari su misura.

È opportuno sottolineare che il presente lavoro di tesi ha rappresentato uno studio preliminare di fattibilità per valutare se fosse possibile, attraverso le informazioni richieste ai genitori e le misurazioni effettuate, acquisire per tutti i bambini i dati necessari ad effettuare le valutazioni delle pressioni plantari.

A livello più generale i risultati di questo studio sono utili perché possono essere utilizzati per stilare delle normative sulla qualità dell'appoggio plantare in età pediatrica. Lo studio inoltre può fornire un'interessante spunto al Ministero della Salute che potrebbe essere interessato ad organizzare degli interventi di screening ad ampio spettro per monitorare ed intervenire tempestivamente in età pediatrica sulle patologie legate alle alterazioni dell'appoggio plantare. I dati forniti possono essere utilizzati quali ausilio per la costruzione di protocolli di ginnastica posturale per effettuare un lavoro mirato e oggettivamente verificabile nel tempo. Infine, in una realtà multietnica come quella di Padova, la promozione di un progetto di questo tipo può rappresentare anche un'occasione di sensibilizzazione su tematiche legate alla salute soprattutto per famiglie provenienti da Paesi stranieri.

Nel futuro svolgimento di questo progetto di ricerca sarà indispensabile tenere conto dei limiti evidenziati nel presente studio di fattibilità e ridiscutere i metodi di analisi statistica alla luce del confronto emerso in equipe.

Tale sviluppo futuro ha già iniziato a prendere forma, infatti per questo nuovo anno scolastico 2016-2017 il Ministero ha finanziato più fondi per poter coinvolgere un maggior numero di scuole della Provincia di Padova e definire un Progetto pilota da poter poi estendere ad un numero sempre maggiore di scuole a livello Nazionale.

BIBLIOGRAFIA

1. Bennett P. e Duplock L. (1993), *Pressure distribution beneath the human foot*, J Am Pod -med Assoc, 76B: 674-8
2. Bertsch C., Unger H, Winkelmann W. E Rosenbaum D. (2004), *Evaluation of early walking patterns from plantar pressure distribution measurements. First year results of 42 children*, Gait and Posture, 19, 235-242
3. Cappello A., Cappozzo A. e Di Prampero P. E. (2003), *Bioingegneria della postura e del movimento*, Pàtron Editore, Bologna
4. Cavanagh P., Hewitt F. e Perry J. (1992), *In-shoe plantar pressure measurement: a review*, The Foot, 2, 185-94
5. Chesnin K.J., Selby-Silverstein L. e Besser M.P. (2000), *Comparison of an in-shoe pressure measurement device to a force plate: concurrent validity of center of pressure measurements*, Gait and Posture, 12, 128-133
6. Chiu M., Wu H. e Chang L. (2013), *Gait speed and gender effects on center of pressure progression during normal walking*, Gait and Posture, 37, 43-48
7. Chuckpaiwong B., Nunley J.A., Mall N.A. e Queen R.M. (2008), *The effect of foot type on in-shoe plantar pressure during walking and running*, Gait and Posture, 28, 405-411
8. Cousins S.D., Morrison S.C. e Drechsler W.I. (2012), *The reliability of plantar pressure assessment during barefoot level walking in children aged 7-11 years*, Journal of Foot and Ankle Research, 5:8
9. Dowling A.M., Steele J.R. e Baur L.A. (2004), *What are the effects of obesity in children on plantar pressure distributions*, International Journal of Obesity, 28, 1514-1519
10. Kellis E. (2001), *Plantar distribution during barefoot standing, walking and landing in preschool boys*, Gait and Posture, 14, 92-97
11. Mueller S., Carlsohn A., Mueller J., Baur H. e Mayer F. (2016), *Influence of Obesity on Foot Loading Characteristics in Gait for Children Aged 1 to 12 Years*, Jean L. McCrory, West Virginia University, United States
12. Novel "Pedar X-Manual", Version 24
13. Perry J. e Burnfield J. M. (2010), *Gait Analysis. Normal and Pathological Functioning*, 2nd Edition, Slack Incorporated, USA

14. Sutherland D.H., Olshen R.A., Biden E.N. e Wyatt M.P. (1988), *The development of mature walking*, Mac Keith Press, London

APPENDICE A: LETTERA INFORMATIVA PER I GENITORI

Egregio signore/a,

Suo figlio/a è invitato/a a partecipare ad un protocollo di studio sull'analisi della postura in soggetti con incoordinazioni dimensionali trasversali delle arcate dentarie. Le malocclusioni ortodontiche, caratterizzate da una contrazione trasversale dell'arcata mascellare, sono frequentemente responsabili di una incoordinazione delle mascelle che può determinare nel giovane paziente in crescita un alterato sviluppo della porzione più inferiore del complesso maxillo-facciale. Il cronicizzarsi di una malocclusione dentaria in giovane età può determinare un adattamento posturale del soggetto con ripercussioni nello sviluppo muscolo scheletrico.

Se lei aderirà a questo studio, suo figlio/a verrà sottoposto ad una valutazione ortodontica per determinare la presenza o meno di una contrazione trasversale dell'arcata mascellare.

L'analisi posturale non prevede prelievi di sangue o assunzione di farmaci, consiste semplicemente in una camminata che prevede l'inserimento di apposite solette all'interno della calzatura (Novel Pedar X Germania GmbH) che permettono di elaborare la mappatura delle pressioni del piede. Prima dell'esame verranno applicati sulla pelle di alcuni punti del corpo dei sensori assolutamente indolori. Il soggetto dovrà fare una breve passeggiata.

Quanto ai dati personali di suo figlio/a Le garantiamo che ogni informazione raccolta nel corso dello studio verrà considerata come confidenziale e sarà dato accesso ai dati unicamente agli investigatori.

I risultati della ricerca potranno essere pubblicati su riviste mediche e presentati a congressi, ma in nessun modo sarà possibile l'identificazione di suo figlio/a.

Il protocollo si svolgerà con la presenza dei medici Dr. Antonio Gracco, Ing Z.Sawacha, PhD e collaboratori.

Io sottoscritto

nato il..... a..... genitore / responsabile legale
di.....nato
il.....a.....

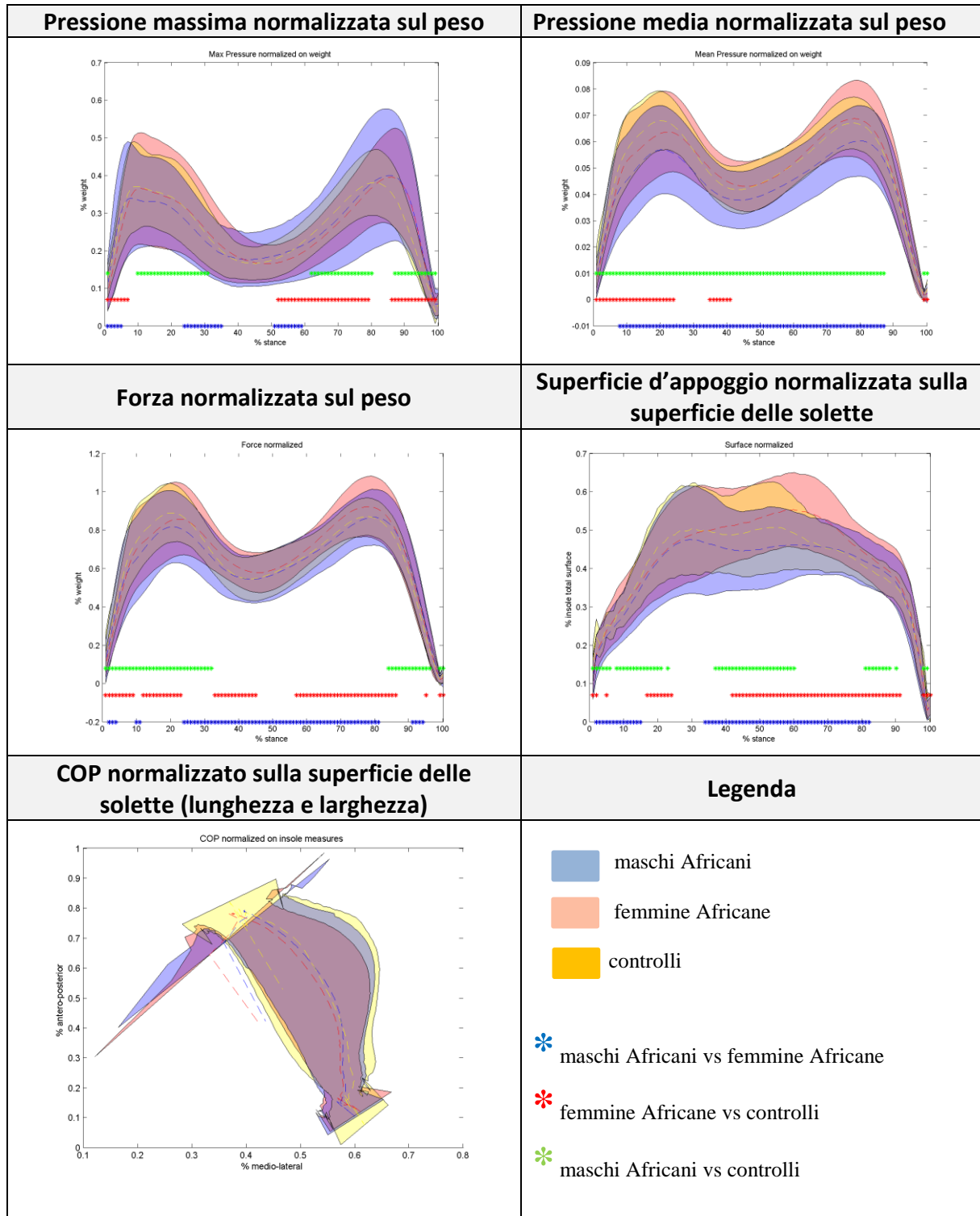
essendo stato informato degli obiettivi e delle modalità di esecuzione dello studio intitolato

“Protocollo per l'analisi della postura in soggetti con incoordinazioni dimensionali trasversali delle arcate dentarie”, acconsento a partecipare allo studio

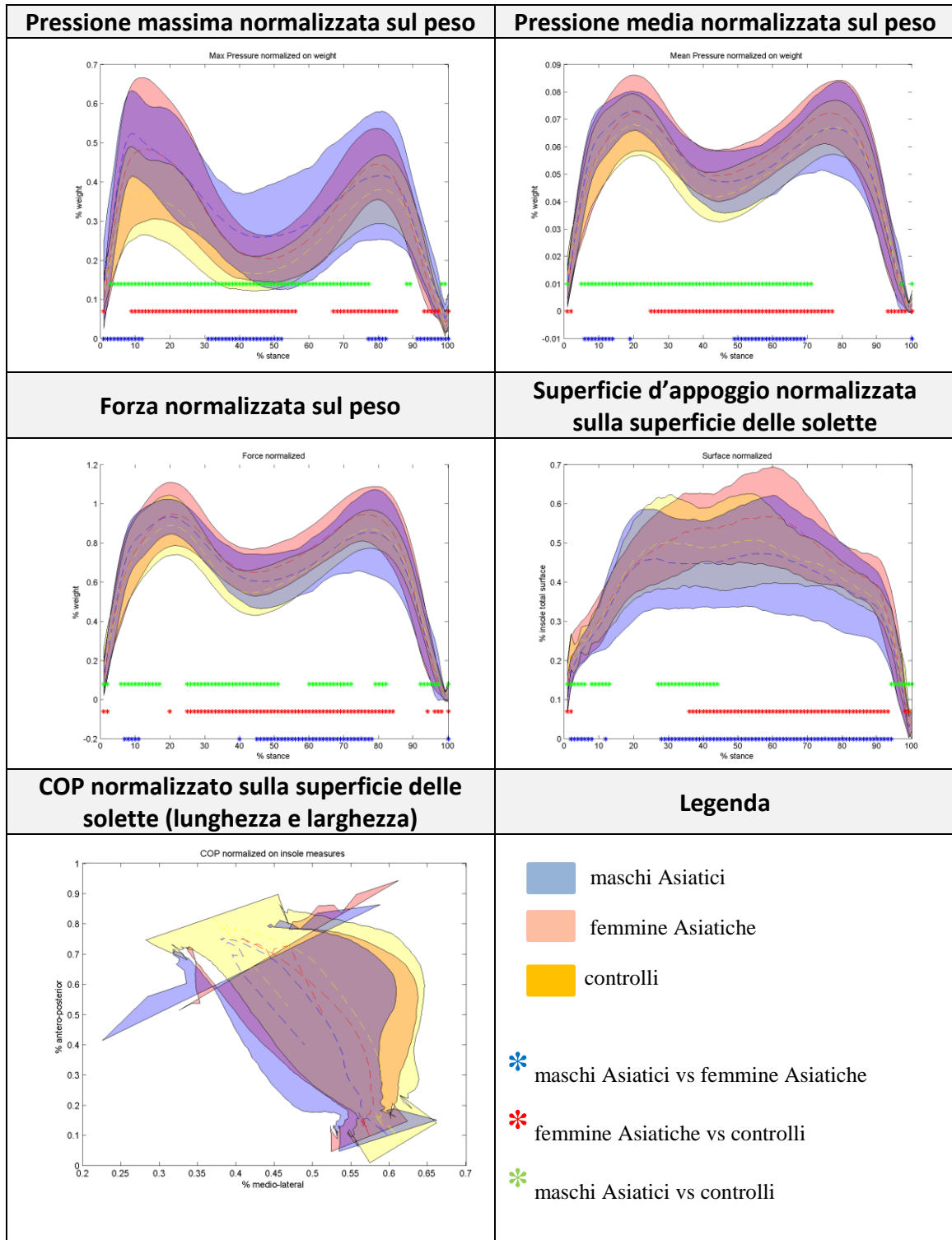
Firma

Firma del medico

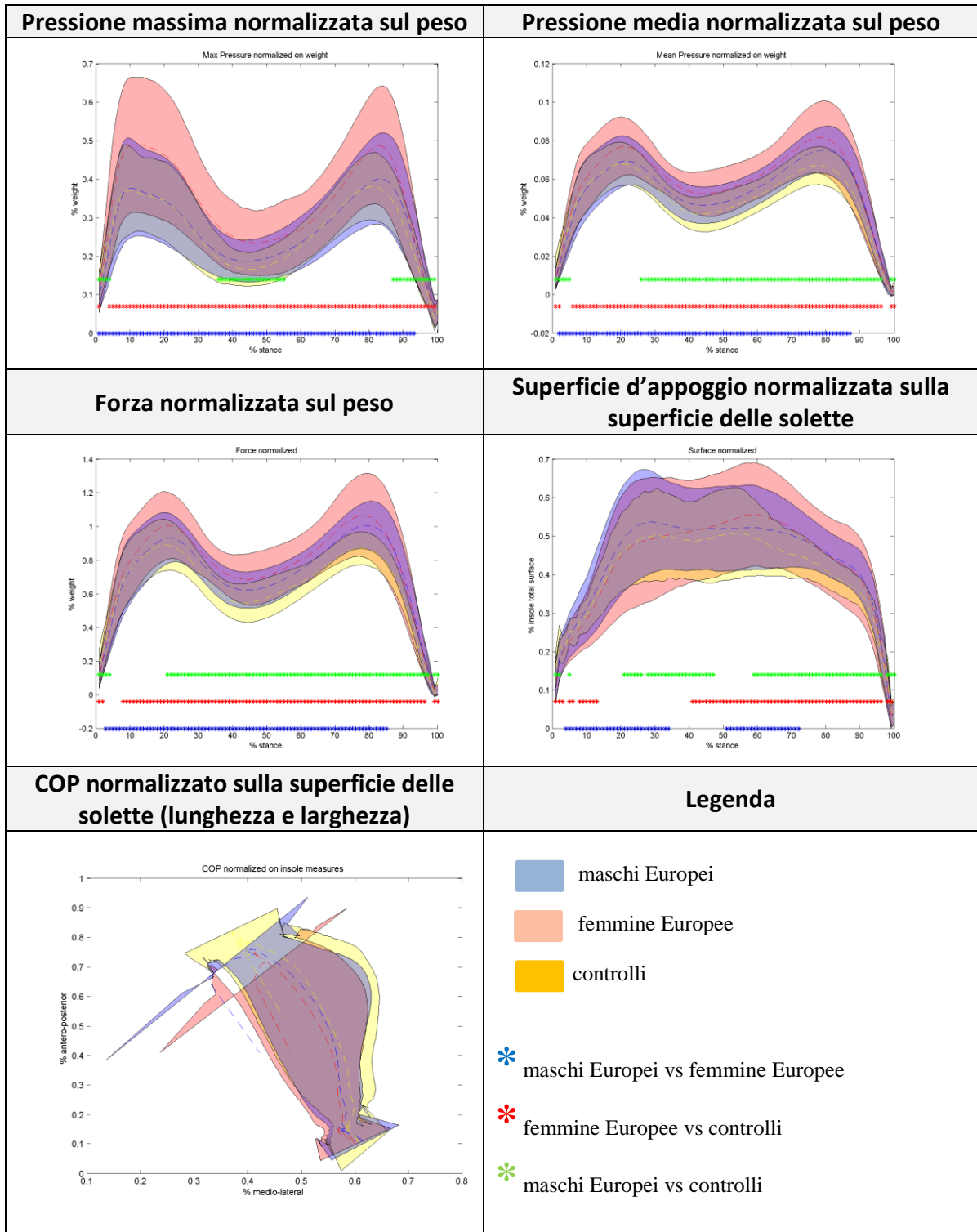
APPENDICE B: FASCE SESSO CONTINENTE AFRICA



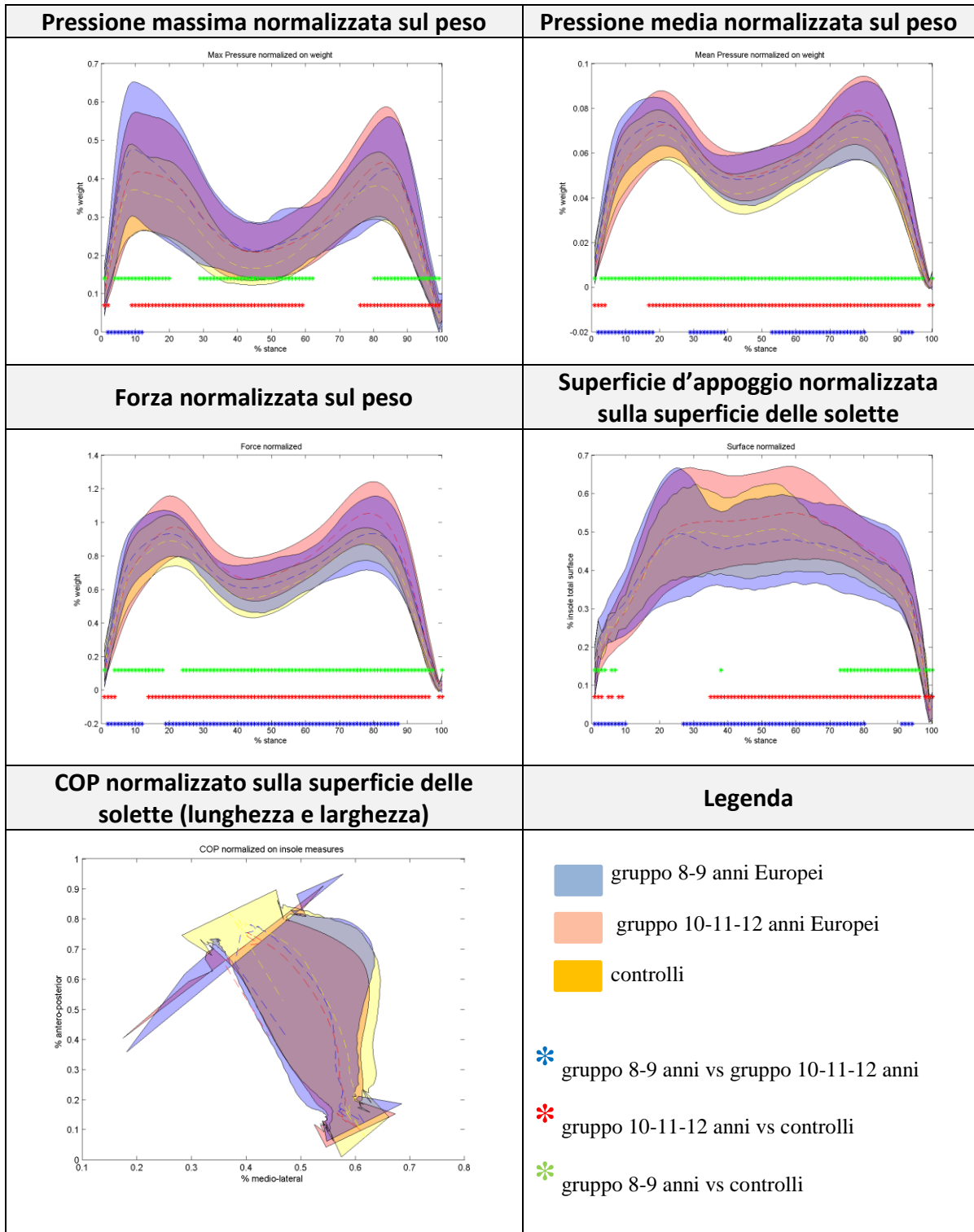
APPENDICE C: FASCE SESSO CONTINENTE ASIA



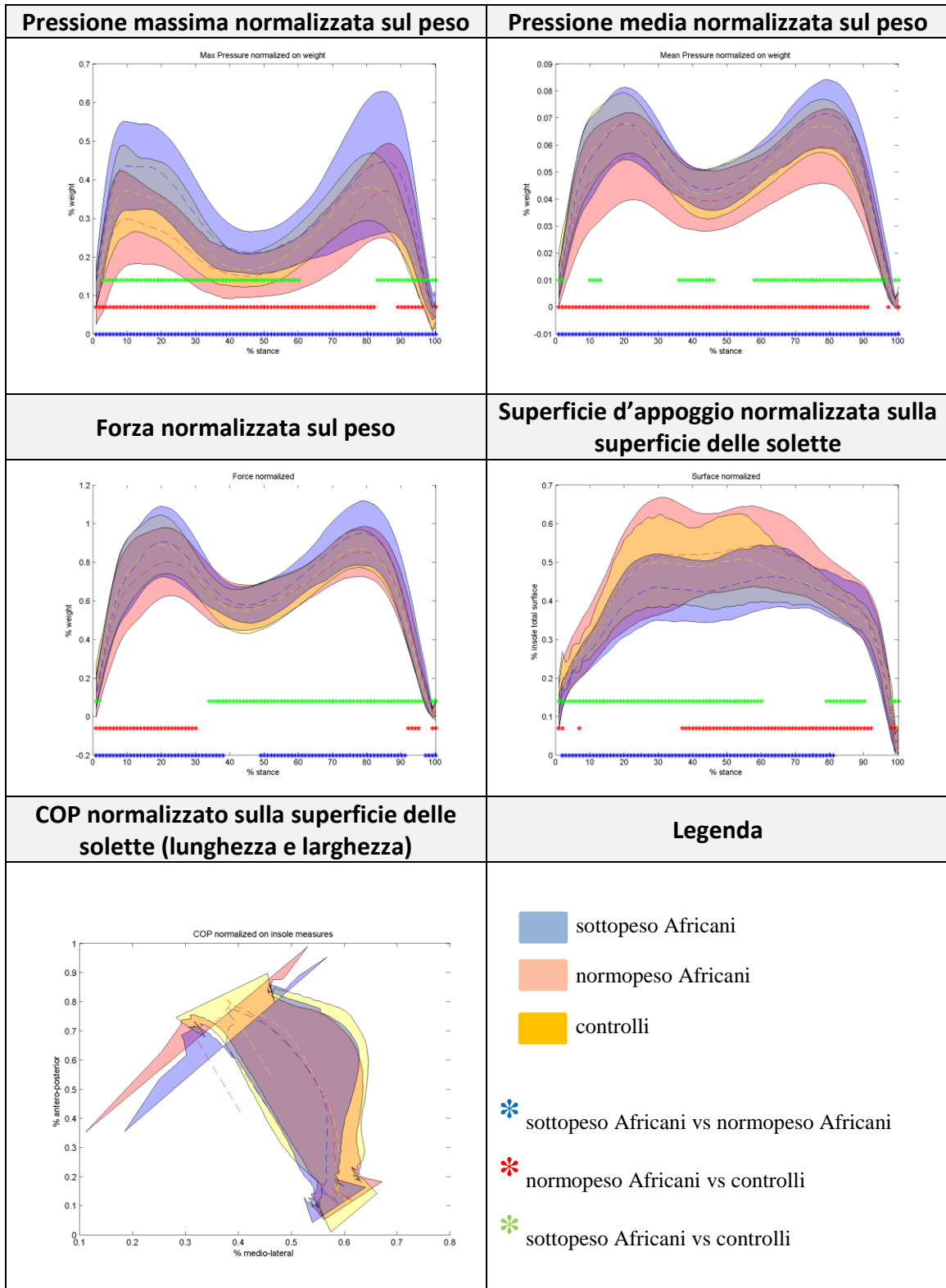
APPENDICE D: FASCE SESSO CONTINENTE EUROPA



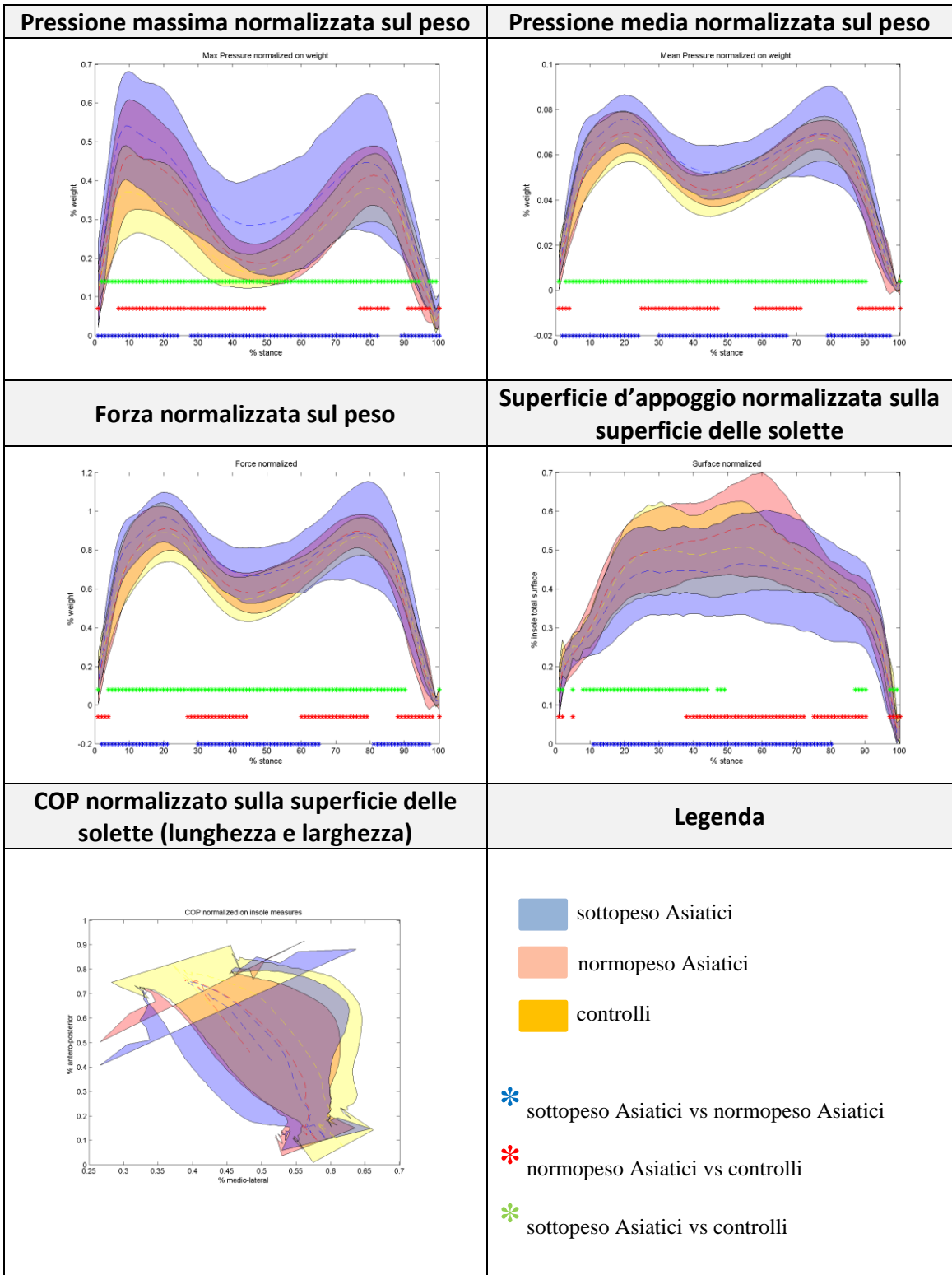
APPENDICE E: FASCE ETA' CONTINENTE EUROPA



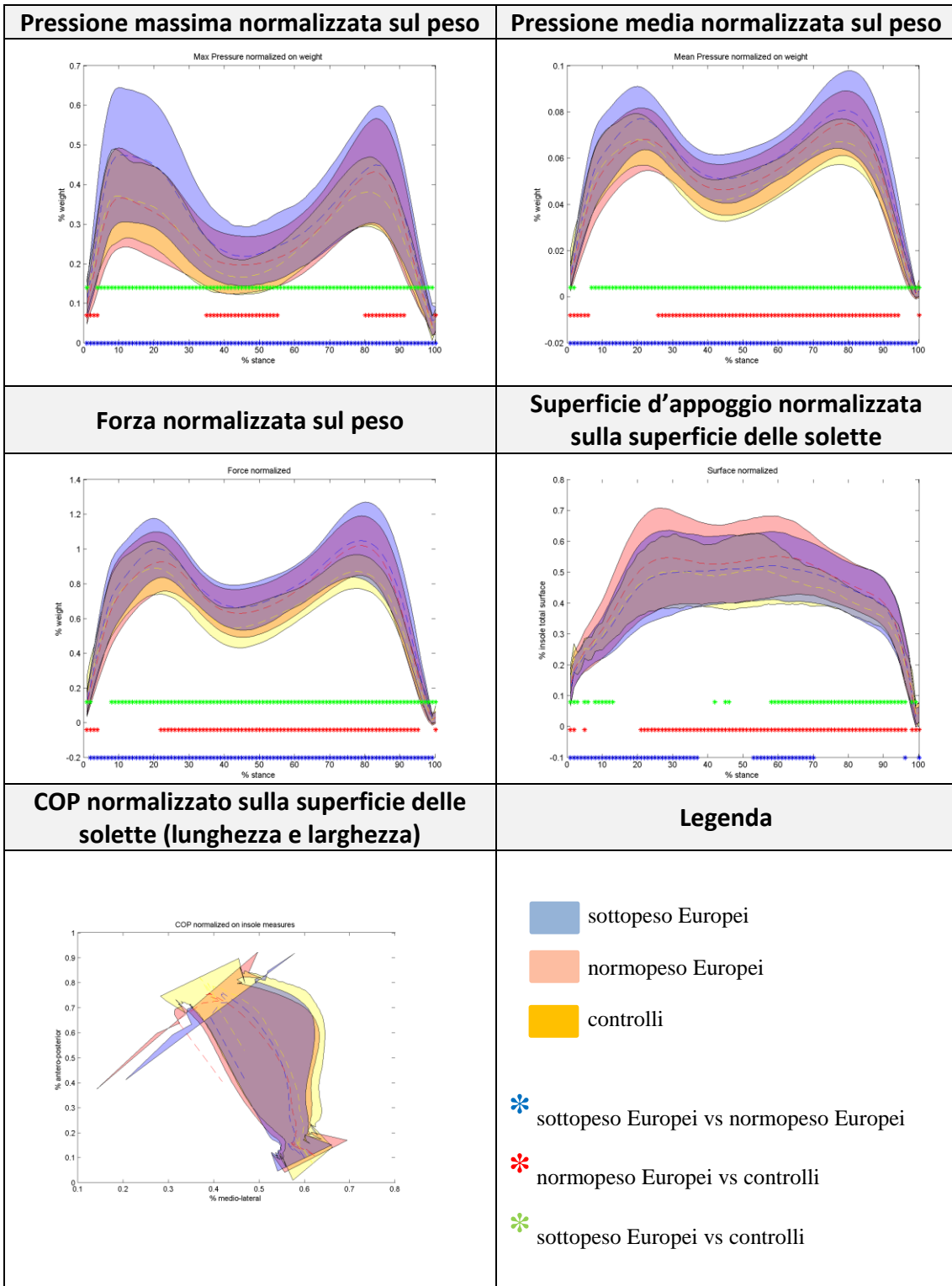
APPENDICE F: FASCE BMI CONTINENTE AFRICA



APPENDICE G: FASCE BMI CONTINENTE ASIA



APPENDICE H: FASCE BMI CONTINENTE EUROPA



APPENDICE I: ESEMPIO DI REPORT CONSEGNA TO AI GENITORI



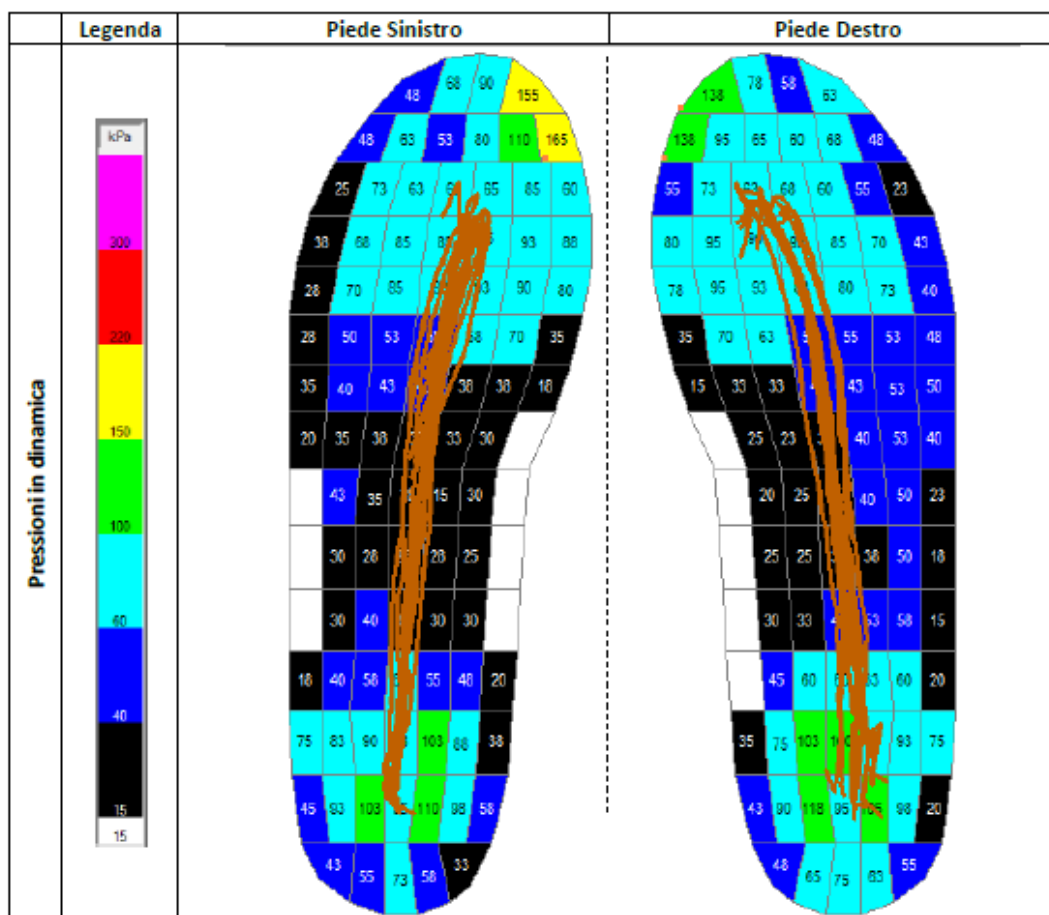
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Progetto "Sulle Tue Orme"
Report dati solette di pressione (Pedar-X, Novel)



Cognome e Nome:				Data di nascita:		29/11/05	
Peso:	34	Altezza:	134	N. scarpe	36	N. soletta:	36

DINAMICA – medie su 10 passi



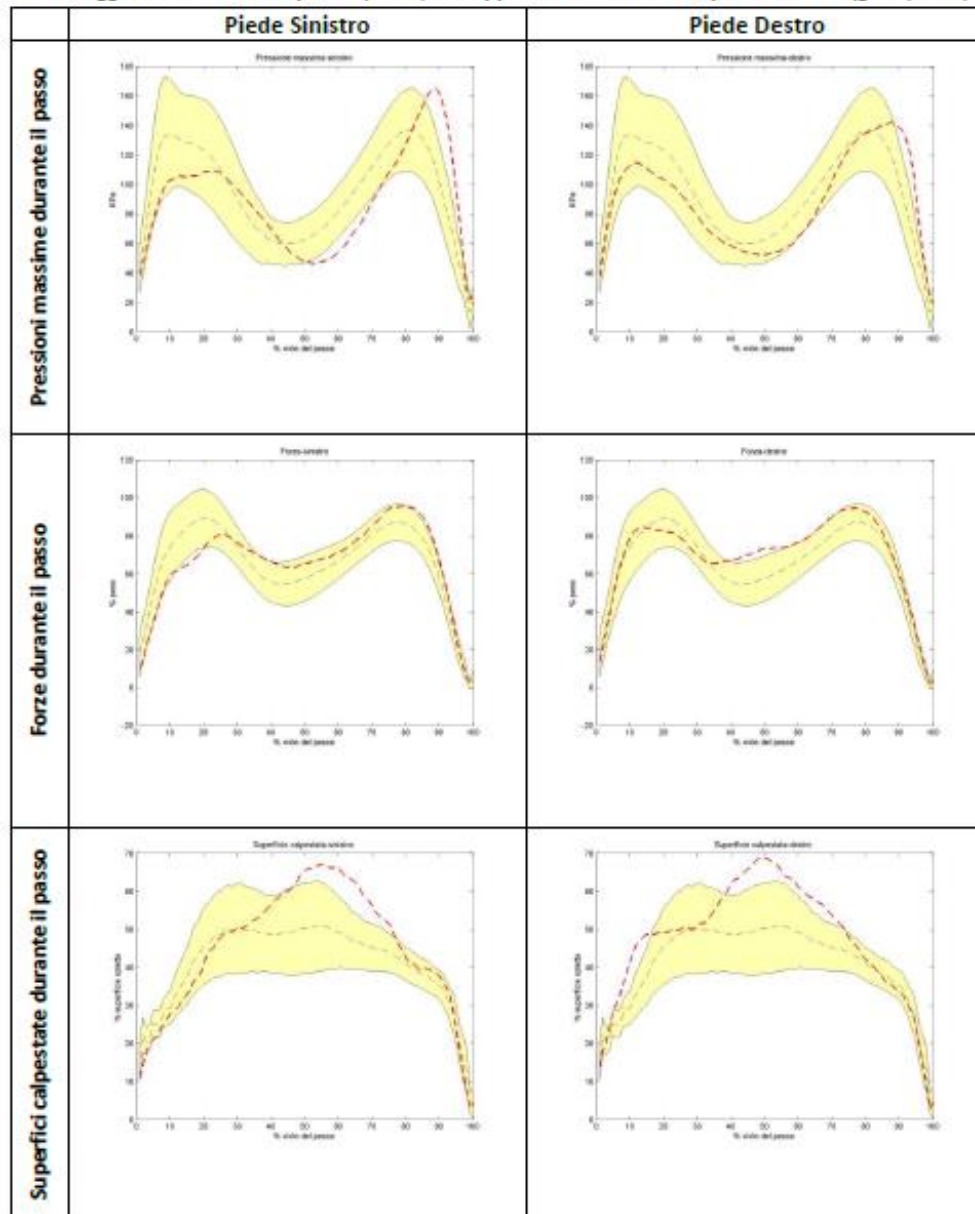
	Piede sinistro	Piede destro
Periodo del passo: [s]	1,03	0,62
Tempo di appoggio: [s]	0,62	0,41
Pressione massima: [KPa]	309,74	290,46
Forza massima: [N]	102,02	98,04
Superficie massima: [cm2]	74,95	80,08

Laboratorio di Bioingegneria del Movimento – Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione - Via Ognissanti 72 – Padova
Responsabili del laboratorio: Prof. C. Cobelli, Ing. Z. Sawacha - Responsabile produzione report: Z. Sawacha, A. Guiotto



Cognome e Nome:

Dati soggetto - medie su 10 passi - (rosso) sovrapposte a fasce controlli pari età e BMI (giallo/nero)



Piede con appoggio tendenzialmente da piede piatto in dinamica bilateralmente, ma senza conseguenze in termini di capacità di svolgere l'accettazione del carico o eseguire la fase di spinta durante il cammino. Si rileva la presenza di ipercarichi a sinistra. Si suggerisce un ulteriore controllo ortopedico/fisiatico. _____